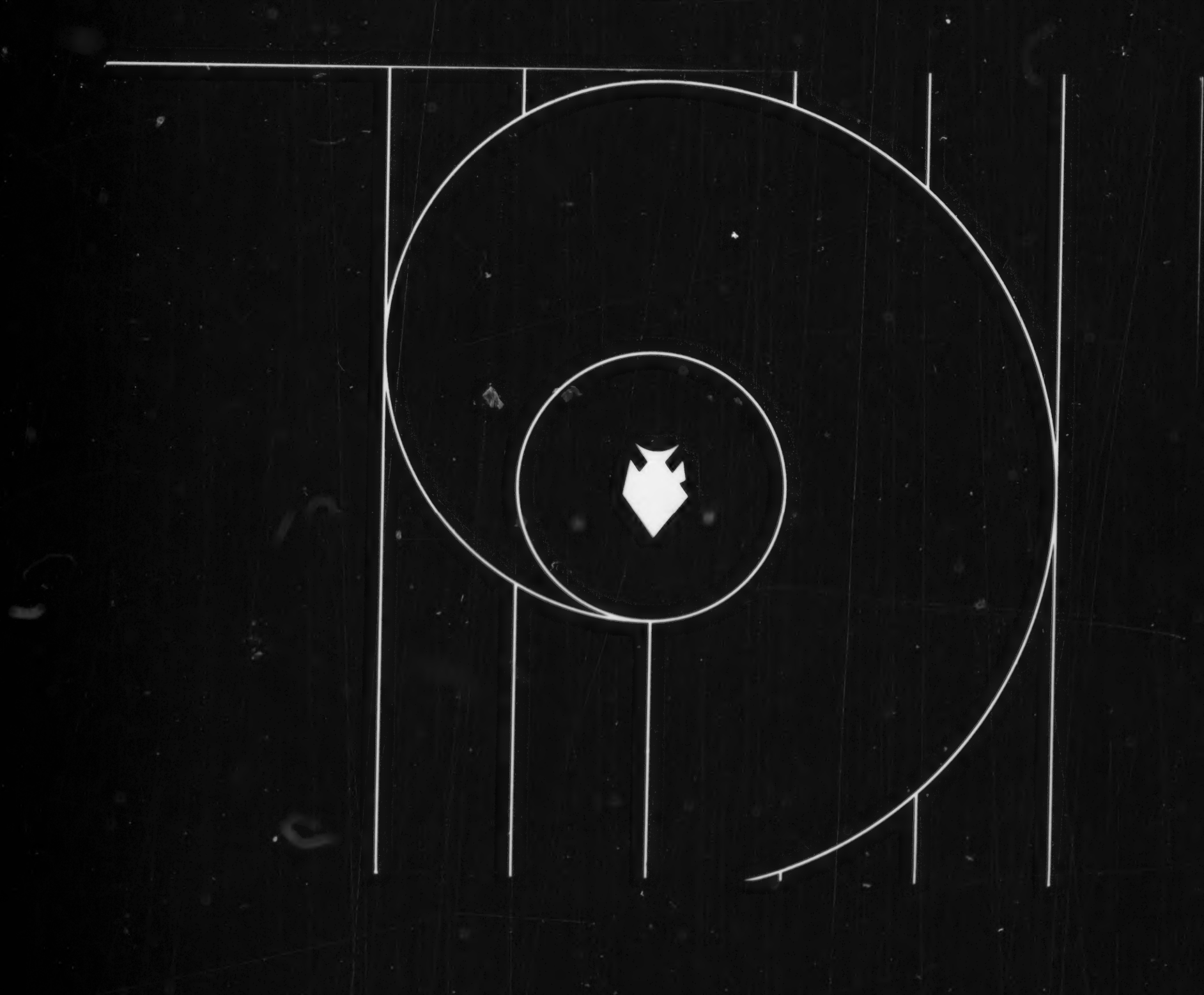


86-03079/

The Fisheries Research Board of Canada Reports series encompasses studies, symposia, and special reports.

Report No. 1 — "The Way Ahead" Symposium on the 75th Anniversary of the Fisheries Research Board of Canada.

Report No. 2 — The Fisheries Research Board of Canada — Seventy-Five Years of Achievements. By W. E. Ricker.

Report No. 3 — Science for Canada's Shelf-Seas Fisheries. By H. A. Regier and F. D. McCracken.

Report No. 4 — Biological Oceanography in Canada: A Perspective and Review. By T. R. Parsons.

Report No. 5 — Natura Naturans: A Symposium on the Fry Paradigm.

Report No. 6 — Structured Aquaculture Development with a Canadian Perspective. By G. I. Pritchard.

Report No. 7 — Science for the Scattered Fisheries of the Canadian Interior. By H. A. Regier.

Report No. 8 — Physical Oceanography in Canada. By C. R. Mann.

Report No. 9 — Chemical Oceanography in Canada. By C. R. Mann.

Report No. 10 — Science for Canada's Fisheries Rehabilitation needs. By K. H. Loftus.

Report No. 11 — Science for Canada's Atlantic Inshore Seas Fisheries. By F. D. McCracken and R. S. D. Macdonald.

Published by

Fisheries and Environment Canada

Fisheries and Marine Service

Scientific Information and Publications Branch

Ottawa K1A 0H3

Publié par

Pêches et Environnement Canada

Service des pêches et des sciences de la mer

Direction de l'information et des publications scientifiques

©Minister of Supply and Services Canada 1976

Available by mail from

Printing and Publishing
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

or through your bookseller

Catalog No. Fs 97-10 12
ISBN 0-660-00876-5

Price: Canada $3.00
Other countries $3.60

Price subject to change without notice

Contract No. OKT 6-3486
Printed by
Imprimerie Nationale
Joliette, Qué

FRB REPORT

Aquatic Environmental Quality: Problems and Proposals[1,2]

H. H. HARVEY

Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Oceanography Branch, Ottawa, K1A 0H3

Contents

2 ABSTRACT/RÉSUME

2 INTRODUCTION
Terms of reference
Scope of study
Interpretation and criteria
Approach taken
Emphasis and bias
An ill-structured problem
The Canadian paradigm

6 CURRENT MONITORING PROGRAMS
Water quantity
Chemical quality of water
Chemical and biological assessment of pollution
Provincial pollution monitoring
Federal and provincial ideologies

8 EARLY WARNING SYSTEMS

8 WATER QUALITY INDICES

9 WATER QUALITY ATLAS

10 CONSTRAINTS
Corporate morality
Secrecy
University role
University research funding

13 MUNICIPAL WASTE
Treatment and nontreatment
Sewage and seafood
On-land disposal

16 AGRICULTURE
Soil erosion
Draining wetlands
Irrigation
Groundwater
Livestock and feedlots
Fertilizer

19 FORESTRY
Access roads
Logging
Water transport
Forest insecticides
Pulp and paper processing
Slimicides, chloralkali bleach, and mercury

22 MINING
Acid mine waste
Mining and processing wastewater
Mine tailings
Air pollution, fallout, and precipitation

24 POWER GENERATION
Hydroelectric dams
Fossil fuel plants
Nuclear reactors

27 TRANSPORTATION
Shipping
Highways
Railroads
Pipelines

28 RECREATION
Nature of recreation
Environmental impact
Cottage density

31 CONCLUSIONS

32 RECOMMENDATIONS
Monitoring
Research

34 ACKNOWLEDGMENTS

34 REFERENCES

37 APPENDICES

[1] Reprinted from the *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 1976, 33: 2634–2670.

[2] This report was prepared under contract for the Fisheries Research Board of Canada. The views expressed are those of the author and not necessarily those of the Board.

Abstract

HARVEY, H. H. 1976. Aquatic and environmental quality: problems and proposals. FRB Report No. 12: 1–37.

An overview was prepared of research and monitoring of aquatic environmental quality by federal and provincial agencies, the university, and private sectors. The overall effort in Canada was found to be unbalanced. Areas of strength were monitoring of water quantity, chemical water quality, and fish physiology–toxicology. Areas of weakness were the use of organisms and the use of whole systems as indicators of environmental quality. The amount of innovation was modest, due in part to the underutilization of the university community. In some areas of monitoring, data interpretation lags seriously behind data collection. A number of constraints now exist to our understanding of the source, distribution, and life expectancy of toxic substances in our environment, and these are discussed in relation to mercury. Specific problems of aquatic environmental quality are discussed by economic sector.

Résumé

HARVEY, H. H. 1976. Qualité de l'environnement aquatique: problèmes et suggestions FRB Report No. 12: 1–37.

L'auteur présente une revue des travaux de recherche et de contrôle continu de la qualité de l'environnement aquatique effectués par les organismes fédéraux et provinciaux, les universités et le secteur privé. On se rend compte que, dans l'ensemble, l'effort canadien manque d'équilibre. Les points forts sont le contrôle de la quantité d'eau, de la qualité chimique de l'eau et de la physiologie–toxicologie des poissons. Les points faibles sont l'emploi d'organismes et de systèmes entiers comme indicateurs de qualité de l'environnement. Les innovations sont modestes en volume, à cause en partie de la sous-utilisation de la communauté universitaire. Dans certains domaines du contrôle continu, l'interprétation traîne loin derrière la cueillette des données. Il existe présentement plusieurs contraintes à notre compréhension de la source, de la répartition et de la durée des substances toxiques dans notre environnement, et l'auteur discute de ces points en relation avec le mercure. Des problèmes spécifiques de qualité de l'environnement aquatique sont examinés par secteur économique.

Received April 15, 1976
Accepted July 13, 1976

Introduction

This study is one of a series commissioned by the Fisheries Research Board of Canada (FRB) in meeting its mandate to advise the Minister of State for Fisheries. The terms of reference were written by the Committee of the Board on Aquatic Environmental Quality, and accepted by the Board as a whole. The purpose of this study was to provide background information for the FRB Committee. This group had the responsibility of producing a succinct report for consideration by the Board and, thereafter, the Minister.

Terms of Reference

The study was divided between R. D. Hamilton and H. H. Harvey. The portion of the terms of reference falling to the latter author were:

Evaluate current Canadian monitoring programs on aquatic environmental parameters, placing emphasis on related programs as well as their individual and joint utility. Explore the practicality of using organisms and communities of organisms as indicators of water quality. Determine feasibility and desirability of federal support for research into the development of water quality indices and for the preparation of a water quality atlas.

Review and assess the relevance, emphases, adequacy, and effectiveness of the Fisheries and Marine Service research effort on aquatic environmental quality, in relation to the total Department of the Environment and national effort in this field. Particular attention should be given to the coordination of freshwater environmental quality research.

Scope of Study

Having used the phrase "aquatic environmental quality" it is obvious that this must be further defined in terms of "for what" or "for whom." In doing so, one is in effect listing the immense number of human activities and nonhuman processes that involve water. It would be simpler to try to identify those activities/processes that do not involve water. In the operational sense environmental quality is used as defined by Pimlott et al. (1971).

It is not surprising that many, often large institutions have been formed to deal with water. Nor is water the responsibility of any one level of government. Under the British North America Act of 1867, responsibility was shared between federal and provincial governments. Thus, eight federal departments are involved with water, and almost as many in each province. Boundaries

between provinces were seldom based on watersheds, and this requires interactions between provinces and the federal government on common waters.

Also, the international border passes midchannel through the Saint John, St. Lawrence, Rainy, and other rivers; through Memphremagog, Champlain, Ontario, Erie, Huron, Superior, St. Mary, Rainy, Lake of the Woods, and other lakes; the Red, Souris, Poplar, Milk, Kootenay, Columbia, Flathead, and other rivers cross the border one or more times. This requires yet another level of institutions to deal with water — international commissions.

By no means is all research on water done by these levels of government. The private sector, both that of industrial firms and of consultants, is appreciable and increasing rapidly. Historically, universities made a large contribution to research on many aspects of water. Finally, some provincial research councils have active research programs on water-based problems.

The challenge then was to assess this diverse, overall research effort and to attempt to categorize it into some manageable units. Hopefully this would make clearer some areas of overlap, of duplication of effort, of inadequate effort, and the problems that have remained nobody's responsibility.

This was not intended as a review article for scientists on the state of the science. This was written as a background document for an overview of government policy in relation to aquatic environmental quality, for the Fisheries Research Board of Canada. This Board intercepts the line-operation at the level of the Minister, that is, the Board advises the Minister of State for Fisheries on matters of policy.

Interpretation and Criteria

One term of reference of this study called for review and assessment of the relevance, emphases, adequacy, and effectiveness of the research effort on aquatic environmental quality. How does one measure things such as relevance, especially in view of the rapidly changing value-judgments in the area of environmental concerns? One approach is to assess these in terms of man-years expended and dollars spent for each category of environmental problem. That is, the measurement is that of effort expended without assessing its effectiveness. Such statistics are available for operational units within governmental agencies, but not by specific environmental problems. Thus, it is easy to identify the budget and personnel of, for example, a toxicology unit in a research station, but it is very difficult to identify the total effort in Canada on environmental problems or its effectiveness related to cadmium, for example.

An alternate approach is that taken by the Economic Council of Canada (ECC) and Science Council. Relevance and adequacy of government action is measured not on the basis of expenditures made, but on results achieved. Thus, for example the ECC does not advise the federal government on how to juggle its financial and personnel resources, but rather assesses the impact on the economy of current government policies.

In the area of aquatic environment the measure of success/failure becomes the frequency and extent of disasters such as the mercury crisis, the contamination of the Great Lakes with polychlorinated biphenols (PCBs), the fecal contamination of the St. Lawrence River and its tributaries, etc. That these have occurred is a measure of the failure of the system; the frequency and extent of these crises are measures of the adequacy of the system. The ability of government to respond to these crises is a measure of the effectiveness of the system.

Approach Taken

Early in the preparation of the background study it was obvious that water-based research in Canada was highly regional in character and could best be accessed locally. It was also the intent of the study that perceived research needs have a clear basis in real problems. The approach thus took the form of traversing the country, conducting interviews and workshops to identify regional water-based problems. The interviews were conducted January to September 1975, and more than 400 people contributed information and understanding. Field time was divided up regionally: 3 weeks in the Maritime Provinces; 3 weeks in Ontario; 2 weeks each in British Columbia, Alberta, and Quebec; 10 days in Manitoba; 1 week each in Newfoundland and Saskatchewan. An additional 4 months was spent in the Capital Region, part on interviews, part on the correspondence associated with the cross-country visits, and part on preparation of the report. The notes prepared during the interviews held across the country comprised two large volumes. This material, the specific knowledge and reflections of more than 400 people, found expression as the detail that filled out the framework of the report. To identify the sources of information and ideas used in the study, would make the report extremely difficult to read. Need-

less to say, the author is deeply indebted to all contributors. No one who was asked to contribute refused to do so.

Emphasis and Bias

Sources of pollutants can be grouped in two large categories. Point sources are those foci of contamination that can be precisely sited geographically. Typically, this is the effluent outfall of a factory or municipality. Nonpoint sources are diffuse and, hence, not easily identified as to origin. Examples are pesticides, agricultural fertilizer washed into waters, road salt, PCBs, etc.

In early years, virtually all agencies charged with the responsibility of protecting the quality of the aquatic environment, directed their efforts at point sources of contamination. The reasons were many and obvious. First, it was easy to do; that is, it was easier to monitor the flow of waste at the factory fence than to monitor the quality of precipitation in a remote area. Another reason was the ease of dealing with the clientele. For example, it is far easier to force an industrial plant to comply with regulations than industries as diffuse as agriculture, transportation, or forestry. Thus, regulation of point sources offered the greatest pollution control-per-unit of effort expended. This devotion to one category of pollution was not unique to Canada. The U.S. Environmental Protection Agency concentrated all its resources on point-source pollution and was eventually taken to court by environmentalist groups for neglecting others.

In the regional-workshops approach to this study, administrators and researchers, in keeping with the terms of reference, talked mainly about problems not yet tackled or solved. A disproportionately large number of these problems fell in the category of nonpoint sources of contamination. The weight of this opinion then gave the study an obvious bias of concern for additional research on nonpoint sources of degradation of the aquatic environment.

Another corollary of this approach is that the workers interviewed talked mostly about problems that remain to be solved. The overall report identifies areas of weakness and largely ignores areas of strength. It would be unfortunate if the reader gained the impression that nothing is going well in the area of aquatic environmental quality. But the purpose of this study was not to eulogize that which is in order, but rather to make apparent that which is not.

An Ill-Structured Problem

The problems of maintenance of aquatic environmental quality and associated responses fall in Chevalier's category "ill-structured." Ill-structured in that the problems are complex to enigmatic, involve a variety of unrelated approaches, and a plethora of government agencies ranging from unrelated to closely related.

An example of a complex to enigmatic problem is that of mercury in the aquatic environment. Mercury occurs naturally in Canada, and varies considerably in amount locally. Thus, an extensive effort at monitoring and mapping is required concurrent with any assessment of mercury of human origin. The amount of mercury lost to the environment to the present time is not known and corporations are under no obligation to make this information available. Thus, it is not possible to construct a mercury budget for a body of water, calculate clearing times, or such. Furthermore, information on the mercury content of fish analyzed in routine (federal) fish inspection is classified as secret. The combination of these constraints makes the problem so ill-structured it obviates rationalization. The result is no thorough review or overview of the mercury problem in Canada. No analysis of the research effort devoted to mercury can by-pass the enormous constraints described above.

The problem of protection of the aquatic environment is ill-structured in that it involves multiple levels of government and a myriad of overlapping agencies within these levels. Federal and provincial governments both interpret their mandates as including the "environment" and to a different degree in each province. Thus, a problem that is a federal responsibility in one province will be a provincial responsibility in a second, and a shared effort in a third. Environmental concerns researched (by the feds or the provincials) in one province may be regarded as nonproblems in another. Within the federal government, environmental problems transcend the structural units (there is no reason to think that it could be otherwise) and often involve a host of agencies. The effectiveness of a multiagency task force depends, in the first instance, on the willingness of the agencies to interact cooperatively. The application of human and monetary resources is secondary. Examples of struggles between agencies for "responsibility" for problem areas are legion. A classical example is that of Department of Environment and Department of Indian and Northern Affairs vying for responsibility for environmental problems in the north.

These properties — political, ethical, legislative, and territorial — define the form of the problem of aquatic environmental quality. These are what

make it ill-structured and, hence, impossible to analyze simplistically.

The Canadian Paradigm

The way Canadians think about water has been influenced greatly by the amount of water they see represented on maps of Canada and the numerous bodies of standing water they encounter. Further, Canadians have been bombarded with statistics on the proportion of the world's water in Canada, and self-congratulations for being so blessed. Professor F. E. J. Fry summarized this illusion as "the great Canadian fallacy — half the world's fresh water."

In fact, the proportion of freshwater storage in Canada is closer to a third, but this too masks a more important truth. Canada receives a modest amount of precipitation, about 20 inches annually on average (Cass-Beggs 1961). For the entire 3,850,000 square miles of Canada, this amounts to 5% of the total precipitation of 80 billion acre-feet falling on land on this planet (Carr 1966). Canada then receives a modest share of the world's precipitation. What is distinctive about Canada is that it is a cold country and has, therefore, a low rate of evaporation. Canada is very young in the postglacial sense and, thus, has a large number of depressions filled with water. The rate of flow through some basins may be very slow; Lake Superior for example has a flushing rate of more than 900 years. Long filling times for lakes have implications in terms of how much water may be withdrawn and the persistence of contamination. Thus, these freshwater environments of Canada carry with them some special responsibilities. They must be consumed cautiously, and once the quality is impaired, recovery time may be very long.

The Canadian water paradigm varies enormously regionally and the regional differences can be expected to accentuate with shifts in population. Of special concern are the "headwater" provinces of British Columbia, Alberta, and Ontario. These are currently, and are predicted to continue to be, the fastest growing areas of the country (Fig. 1), but are not necessarily the areas of greatest water supply. Ontario, for example, with 36% of the population of Canada, receives only 12% of precipitation. Most of the Ontario population lives in a small area less than 5% of all the settled area of Canada (Cass-Beggs 1961). People in southern Ontario have at their disposal a relatively small amount of renewable fresh water.

Another anomaly is the fate of prairie precipitation. The Prairie Provinces make up almost

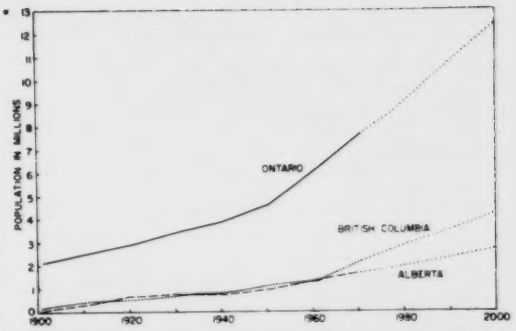


Fig. 1. Real and predicted population growth for British Columbia, Alberta, and Ontario (Statistics Canada).

a third of the settled area of Canada but receive on average about half as much precipitation as the rest of settled Canada. The result of this low precipitation and considerable evaporation is reduced runoff; the prairies average only 2.8 inches or 6½% of the national total. This paucity of water on the prairies has led to agreement among the provinces as to its disposition: Alberta passes on to Saskatchewan one-half of all water that originates in Alberta, Saskatchewan passes to Manitoba one-half the water received from Alberta plus one-half the water originating in Saskatchewan. Two of the fastest growing cities, Calgary and Edmonton, in the country (or world) (Fig. 2), are astride the two most impor-

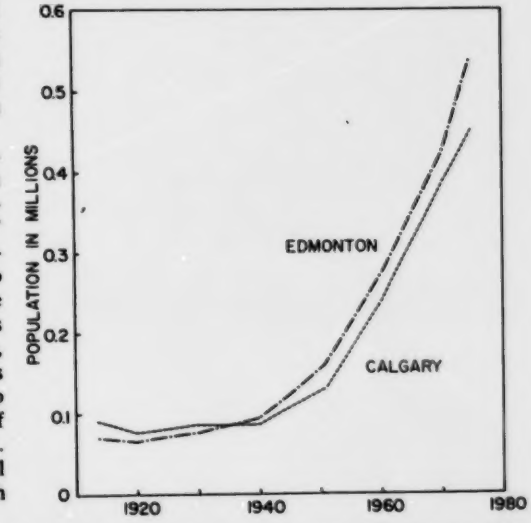


Fig. 2. Population growth for Calgary and Edmonton, Alberta (Statistics Canada).

tant headwaters on the prairies. These rivers, the North Saskatchewan and the Bow, are not large in relation to the associated populations and industries. The quality of headwaters such as these warrants special concern.

Current Monitoring Programs

Many programs are interrelated. For example, water quality has limited value without some knowledge of quantity. Thus, knowing the chemical composition of a stream at some point in time is of limited value if it is not known if this was low water or high, during a rainstorm or freshet, etc. Similarly, knowing chemical composition but not flow, or flow but not composition precludes a calculation of transport by the stream. The interdependence of monitoring systems is too often overlooked, most commonly because each is housed in a different government agency.

Water Quantity

The agency responsible is the Applied Hydrology Division, Water Resources Branch, Inland Waters Directorate (IWD), Environment Canada. This agency monitors flow in 9 of 10 provinces; Quebec assumed its own responsibility in 1964. Ontario maintains some stations in addition to the federal ones. The backbone of this operation is the coding system defined in 1922 for the identification of gauging stations. The associated maps superficially resemble watershed maps and considerable grief has ensued from the invalid use of the maps for drainage basins.

Discharge data is relatively simple and lends itself to computer storage. Some 133 million characters are now stored. Publication is via photo-offset printing from computer printout from tapes. In addition to the annual printing of data from all stations, a Summary Series is produced every 3 years, covering the previous 20-year period.

It would be desirable if other monitoring programs were tied to water quantity as far as possible, to maximize the use of the interrelated information.

Chemical Quality of Water

It is tempting to state that there is a myriad of agencies collecting data on water chemistry; perhaps it just seems that way.

Under the Canada Water Act, Inland Waters Directorate has the responsibility to determine the base-line levels of water quality throughout the country. This is managed through regional laboratories reporting to head office via an information system, NAQUADAT (Canada Water Resource Branch). The information gathered is published periodically; for example, the British Columbia data for 10 years was published in 1975, the Yukon and Alberta data are in press. In addition, IWD enters into basin studies, usually as cost-shared agreements with the provinces and other federal agencies. These have yielded several detailed reports on watersheds such as the Saint John, Churchill, Nelson rivers, etc.

The role of IWD is to provide background data on the quality of water. Almost de facto this becomes the basis for setting water quality objectives for the watershed. Having done so, the role of monitoring and protection then passes to the Environmental Protection Service (EPS).

Chemical and Biological Assessment of Pollution

The Environmental Protection Service began as the enforcement arm of the Department of Fisheries, that is, to apply the Fisheries Act. One provision of the Act states in effect that thou shalt not put anything in the water harmful to fish. As such, this Act is actually or potentially a powerful piece of legislation. It is not, however, so all-encompassing that no other legislation is needed. The Fisheries Act is not operational (for example) if no fish are present or if the offending material, such as mercury or PCBs, is not toxic to fish, but is toxic to warm-blooded animals that consume fish.

The Environmental Protection Service monitors water quality in the context of specific pollution or contamination. Under the BNA Act this can be, and is, interpreted as either a federal or provincial responsibility. The federal concern has several components. For example, the federal government does not want any part of the country to become a "pollution haven." That is, to encourage dirty industry to operate/locate in a province with lower pollution standards. The federal attitude then becomes one of monitoring pollution at the "factory fence." More precisely, monitoring the effluent from each individual plant. The federal philosophy is that of containment within the plant.

Provincial Pollution Monitoring

The provinces have equivalent organizations, usually within a provincial Department of Environment. The age, strength, experience, and mandate varies greatly between provinces. Many provincial agencies are highly competent. For example, Pollution Control Branch, B.C., has 80-plus people in the laboratory and 60 more in

the field. More than half a million water analyses are performed annually. Every stack and discharge pipe in the province operates under a permit. Each week the Director receives a computer printout of all permit violations in the province, and action can be planned accordingly. Permits are reviewed periodically from the perspective of continued acceptability of the prescribed levels of discharge. The exception is the discharge of industrial wastes into municipal sewage systems. Such discharges are not monitored as they enter the sewer, but monitoring is done on water leaving the waste-treatment plant.

Federal and Provincial Ideologies

This example underlines the profound difference in federal and provincial attitudes: containment vs. dilution. Inherent in the concept of dilution are receiving water standards. It becomes necessary to invent concepts like "assimilative capacities," that is how much of, and what kind of pollutant a receiving water could tolerate. The simplistic assumption being either that (1) to some magical level of concentration there was no effect on water chemistry or organisms and pollution could go on up to that level without difficulty, or (2) the effect of the pollutant was a graded effect and some acceptable level of pollution effect could be defined. For example, a loss of a third of species diversity from a community of organisms might be considered acceptable.

Another mystical concept is that of the "mixing zone." This is the region of receiving waters where pollutants would enter, no pollution measurements would be made, and no enforcement applied. It naturally follows that if unacceptable levels of pollution were detected outside the mixing zone, then the mixing zone was too small!

These concepts of "assimilative capacity" and "mixing zone" were invented and used by lawyers and engineers as if they had some basis in scientific theory. There is nothing in ecological dogma, for example, that says a stream can lose some fraction of its species and maintain its integrity.

Another problem area emerges from the dichotomy of federal–provincial approaches. The federal position requires the same receiving water standards across the country. The provinces want flexible standards because of regional differences in water chemistry (such as hardness, alkalinity), not only between provinces but within them.

The provincial philosophy when applied to industrial and municipal wastes may produce some serious effects. For example, permitting unmonitored industrial wastes to enter sewage may result in final (mixed) wastewater with synergistic toxicants. The heavy metals content of the municipal wastes may preclude the use of this material for fertilizer.

Predictably, it is in this area of environmental protection where federal and provincial governments so often clash. It is here that the Canadian disease the "federal–provincial syndrome" appears most often. The disease is fed in part by the existence of two parallel organizations, a federal and a provincial, with similar mandates and expertise. In some instances the duplication of effort is extensive. The most recent policy of Environment Canada has been to allow the provinces to take on this role when the provinces want it and have the resources to fulfill the mandate.

At this late date, the opportunities for federal research initiatives are limited. Each province has its own laboratory. Almost all have developed their own methods of analysis. Almost all have their own data bases, incompatible with the federal one. Permit systems differ between provinces. Some provinces have their own regulations/guidelines for specific industries. In short, in the absence of early federal initiatives, the provinces went their own way. Provincial monitoring organizations will not easily change their methodology or data bases in response to a federal initiative now.

Several federal initiatives helpful to the provinces have been launched. Canada Centre for Inland Waters (CCIW) provides test samples for all laboratories that wish to participate and publishes comparisons from all participants. The Freshwater Institute and CCIW mount symposia on a wide range of environmental quality topics. The federal data retrieval systems, abstract search service, and pollution abstract service are all available to the provinces. The federal government took the initiative in launching a series of workshops with heavy provincial representation to prepare guidelines/regulations for each industrial group in Canada. The provincial complaint in this case is not that the feds do too little, but rather too much! The provinces are hard pressed to find (and spare) an authority for each of a dozen study teams.

Further federal initiatives are warranted in several areas: (1) To identify ways to reduce the number of samples being analyzed. It is not uncommon, for example, to find that a field technician, who is permitted to spend up to $5.00 a day on his own authority, can collect and submit to his laboratory in a day water samples that will cost $1500.00 to analyze. Water chemistry data collection borders on an obsession in some instances. (2) To provide leadership and expertise

in data interpretation. Only a small fraction of the data now gathered on water quality is analyzed adequately, in the sense of extracting meaning from the data. Putting the federal house in order comes first, then proselytizing the provinces. The route is through workshop sessions, including worldwide authorities as speakers. Hopefully university teachers would be involved to improve teaching of data interpretation in that sector. Finally, the message must find its way to the people in federal and provincial agencies. (3) To minimize the cost of the massive amount of water chemistry necessary, by improved laboratory design, and by reducing the number of laboratories. It was a breath of fresh air to visit federal or provincial laboratories shared by two or more agencies. The territorial imperative was reduced greatly, and cooperation increased accordingly. The efficiency of the many water chemistry laboratories across the country warrants a study in itself. (4) To reduce the country-wide efforts expended on new methods. In almost every lab visited, the statement was made that the existing methods were no good and a large amount of effort had to be devoted to developing new methods. One cannot help but wonder if this is displacement behavior: an opportunity for research and publication in what is an otherwise dull routine. If this is the case, perhaps this effort could be redirected into data interpretation. (5) To better relate the water chemistry data to other environmental concerns, for example, to aquatic organisms and their water quality requirements. This will be difficult, in that the people involved in the fields of chemistry and biology differ in educational experience and are in different departments. Their disciplines must be forced together, as water and oil can be forced together under pressure, but without making mayonnaise.

Early Warning Systems

A specific charge by the subcommittee was to examine the adequacy of early warning systems that might prevent crises such as mercury. There are two approaches to this environmental concern. One is to monitor the environment and look for effects. The other is to license the use of specific materials. Both approaches are in use currently by Environment Canada. In the former approach, measurements have to be made on the "right" substance at the appropriate time and place, and someone must put an interpretation on the data gathered. In the second approach, the toxicity of the substance must be known before it can be written into a license and this requires a sizeable research base. The limitation of both approaches is obviously the enormous effort required to research or monitor the million-plus chemical substances in use by man.

In the case of mercury, the pollutant was without obvious ill effect on the fish accumulating it. Thus, these animals, in terms of survival, growth, reproduction, or behavior, betrayed nothing untoward in the environment. They were useless as indicators. Other environmental contaminants can be expected to behave the same way. For such materials, detection must take other forms, for example, identify all hazardous materials used in our society, their toxicity, use, and disposal. With more than 5000 hazardous chemicals shipped in commercial quantities, this is a monumental job. The alternative is to monitor some substances in the environment or in the organisms in the environment that may be accumulating them. Where human health is concerned, monitoring is the responsibility of the Department of National Health and Welfare. For other organisms it falls to a variety of agencies including Department of Agriculture, Canadian Wildlife Service, and Fish Inspection Branch of Environment Canada.

Water Quality Indices

In reviewing this topic it was apparent that at least four federal agencies were at work on indices of this kind.

Statistics Canada is in the process of generating one or more indices of environmental quality, to be used like the cost-of-living index as a measure of the relative well-being of the environment with reference to specific localities, notably large urban centers.

The Planning and Finance Service of Environment Canada has produced a composite environmental quality index (Inhaber 1974), although this has not been used subsequently.

The Economic Council of Canada devotes a considerable portion of its annual report to social indicators. One, treated for the first time in the 11th Annual Review, was urban air quality. This is preceded by an interesting rationale for currently concentrating on air rather than water quality: water pollution can often be avoided (e.g. don't swim) but breathing is unavoidable. For millions of people in Quebec whose streams, rivers, and lakes are too polluted for water-based recreation, this is sage advice but small comfort.

The Inland Waters Directorate of Environment Canada has a mandate to produce water quality indices. The first step is a statistical approach with a more limited objective of indicating

whether the quality of about 10 major water courses is improving or deteriorating.

By no means are these all the individuals or agencies involved in producing indices of this kind within the federal government or outside it. It may be appropriate to: (1) assemble all interested workers in a workshop atmosphere so they will know what each is doing, and (2) review within the government the responsibility of coordinating these scattered overlapping efforts.

Indices are of two types, descriptive and predictive, on the basis of use, rather than inherent properties. Indices also may be simple, that is based on a single variable, or complex when a number of variables are pooled, with or without individual weighting. The measure of coliform bacteria as an index of fecal contamination is an example of a simple index. Slightly more complex is Ryder's morphoedaphic index combining the positive effect of dissolved solids and the negative effect of the mean depth of a lake, to yield an index of fish production (Ryder et al. 1974).

The more simple the index, the more operational it becomes; the more complex, the more it becomes an abstraction that cannot be related to the real world. This is due in part to the difficulty of combining incompatible components into a complex index. *Escherichia coli* is a basis for indexing the suitability of water for human use, with low–good and high–bad for man but of little importance to fish. Increasing dissolved solids (up to a point) tend to be good for fish and bad for man. Waters intermediate in both variables may be acceptable to man and fish. But the linearly combined index may be a value indicating the water is simply unacceptable in total. This is the parallel situation to the cost-of-living index. It is of no value to the consumer to know that the index has remained constant without knowing that this is achieved by substituting poultry for beef in the market basket when the price of beef rose.

The purpose in developing this argument at such length is to make evident the great difficulty in producing a water quality index of widespread value. A simple index or one involving a few variables may have considerable predictive value within a single body of water or watershed. It is very difficult to visualize an index or indices applicable to Canadian waters in general and retaining any predictive value. In short, who is going to use such an index and for what?

Water Quality Atlas

As with any map, the first question is, who are the potential users of an atlas of water quality? The second question is, how much information does the user need? The third question is, what is the cost of providing this service in relation to the value to the user? Finally, what is the life expectancy of the information contained in the map?

The extreme choices are to represent all the country on a single small sheet of paper or to produce a great many maps in detail of the topographic series (17,000 to cover Canada at 1:50,000, 918 maps at 1:250,000). An example of the former is the Water Atlas of the United States which indicates pollution in major watersheds, chemical composition by physiographic regions, etc. An atlas of this type has value in education and in broad areas of policy making. It has, however, limited use in dealing with problems within watersheds, that is, the detail simply isn't possible. Such simplistic or superficial presentation may be misleading. The Maitland River (southwestern Ontario) is reasonably good in terms of quality, but in summer the flow may fall to zero.

Preparation of maps is time-consuming. Five to 7 years is required to produce and inspect a topographic map prepared from aerial photographs. Geographic features tend to be long-lived, and a 10- or 20-year-old topograph may continue to be a useful document. Water quality, however, is changing rapidly in terms of increasing industrialization, stiffer standards and regulations, improved technology for maintaining water quality, etc. Clearly a water quality atlas prepared two or even one decade ago would have limited value today.

These problems of scale and chronology could be solved by producing two different publications. The first would take the form of a series of water quality maps included in the Atlas of Canada. This publication already has 24 pages concerning water, and thematically water quality would fit well in this section. The Atlas has a number of advantages: an experienced production staff is operating continuously; a revised version, requiring 30 man-years, is produced every 5 years (next edition due in 1979); individual maps are sold as separates at low cost through Supply and Services Canada, Printing and Publishing. Finally, the Atlas is widely distributed in libraries, especially school, public, and government, which could be expected to be the greatest users.

Beyond the single sheet maps of all Canada, water quality will probably be mapped on several scales depending on the nature of the problem. For example, agencies within the provincial governments frequently record water quality or like data on the Applied Hydrology Division maps

used for defining monitoring stations. The attendant system of defining monitoring sites in Canada has been adopted by the Water Quality Branch (IWD, Environment Canada) and several provincial agencies. This scale of mapping is better suited to the needs of the regional planner. Beyond this, topographic maps exist for the country in scales of 1:50,000 and 1:250,000. In both cases, the final map is the product of six or more printings. It is not profoundly difficult to modify/prepare one more plate in such a series that would add to the map data on water quality. Such maps would only be prepared when the problem warranted treatment on this scale. One could visualize the value of such maps in areas of most serious human impact: the Fraser Valley, Edmonton–Calgary belt, southern Ontario, St. Lawrence Valley, Saint John Valley, etc.

Finally, computer-directed automated printing can be used to produce acceptable maps in short periods of time. The information content may be limited by the capacity of the equipment. Also a large amount of work is involved in preparing the data for computer use. This technology is underutilized for water quality mapping at the present time.

Constraints

Corporate Morality

One constraint to the solution of environmental problems is the desire of industries to keep secret information vital to any understanding. An example is the Domtar plant in northwestern Quebec. The amount of mercury lost from the plant has been estimated at 16,000 pounds (Canadian Press, Oct. 16, 1975). Domtar alone knows how much mercury was purchased to replace losses, has not made this information public, is under no legal obligation to do so, and accepts no moral obligation to do so. The suggestion has been made that the 8 tons of mercury might have "evaporated" (Ottawa Citizen, Oct. 16, 1975). It is difficult to imagine how this could have happened without endangering the health of the plant workers or why the company would permit mercury worth a third of a million dollars to evaporate. It has also been suggested that the mercury in fishes of the area, being organic mercury, could not have come from the inorganic mercury that escaped from the plant. That microorganisms convert inorganic to organic mercury has been known since 1969. Knowledge of the amount of mercury lost into the environment is essential to understand the problem, most particularly the preparation of a mercury budget for the basin and preparation of a predictive model of recovery.

Another example is the stack at Copper Cliff, where large amounts of metal are carried aloft and fall on the surrounding land and water. The company (INCO), the federal and the provincial governments, have all determined the composition of the stack effluents. Extreme secrecy surrounds all analyses. The best data available is for 1971: 14,500 tons iron, 2000 tons nickel, 1800 tons copper, 155 tons zinc, 12 tons cadmium, 240 tons lead, 110 tons arsenic, and 17 tons selenium (Steel Labour Oct., 1973). Again ecologists need to know what and how much is emitted to model the response of the ecosystem to the loading of toxic materials. The purpose of understanding the degradation of the environment is to foretell what this implies for the health and survival of man and other organisms. In the current array of value judgments this is considered less important than secrecy.

Secrecy

Within Environment Canada excessive and unnecessary secrecy surrounds much of the data on the environment. This is viewed as a major constraint in the search for understanding of the effects of contaminants on the aquatic environment. Within the terms of reference of the present study, establishing the adequacy of both analysis and interpretation becomes very difficult. Fish Inspection Branch, for example, maintains sizeable laboratories across the country to analyze freshwater and marine fish and shellfish landed by Canadian fishermen, and similar products imported into Canada. The results of many of these analyses are secret and are not available even to other researchers within the same service. There is no way of knowing, except for Fish Inspection Branch, whether the analyses or interpretations are adequate to achieve the objective. The best way to ensure this adequacy would be to make public the reports based on the analyses. This would at least provide a strong incentive to maintain high quality work.

Parenthetically, the present system of keeping the results of fish inspection data secret is extremely wasteful of federal resources. Many other agencies require the same information in the legitimate development of their own mandates. The result may be two laboratories side-by-side generating the same data, at least in part. Oftimes other agencies are obliged to turn to less satisfactory measurements of environmental pollutants. Thus, when the International Joint Commission was refused data on contaminants in Great Lakes fishes, it was obliged to launch a costly and not altogether satisfactory alternative

study of contaminants in fish-eating birds and mammals.

Finally, and most relevantly, authoritarianism of any kind results in less successful problem solving. Popper (1966) argued that a society could most effectively solve its problems openly. Specifically, by unrestricted generation of a variety of solutions, their public criticism, followed by selection and modification on the basis of that criticism. This being the case, and the argument of Popper has never been refuted, authoritarian/secretive analysis or interpretation of environmental data can only be less effective than when done openly.

The author of the present report cannot advise the subcommittee as to the total adequacy of the early warning system.

In light of the above, the present policy of secrecy should be reexamined.

University Role

The university sector is making a relatively small research contribution in the area of aquatic environmental quality. There are few centers of concentration and those are more apparent than real. A few exceptions are to be found.

One field station was staffed by 2 professors, 10 graduate students from the University of Manitoba, 6 professors and graduate students from Columbia's Lamont Observatory, and 6 technicians. The equipment was good to excellent, and operating support adequate. The seminar series was the most intensive in the country. Direction of graduate work was exceptional and the choice of research projects outstanding, in that all studies were at the forefront of human knowledge. One hesitates to identify the Experimental Lakes Area (ELA) Station lest it be ruled contrary to the BNA Act and we lose our most outstanding research station for graduate work in limnology. But the lesson is clear: universities are too poorly financed and have few people of the skill and drive of Dr D. W. Schindler to mount a first-rank research effort on water.

Another academic area of concentration is INRS-Eau at the Université du Québec. About 80 people are working in facilities at Complex scientifique. One quarter of the organization's operating budget is derived from the University and the remainder through contracts from various governments and industry. The organization offers a graduate 2-year multidisciplinary program in water, the only one of its kind in the country.

This report does not presume to define the role of the university sector. It does, however, acknowledge that there is a divergence of opinion as to how much, and in what form, the universities can contribute to the study of environmental quality. The university role is perceived as being restricted to teaching (Meyboom 1972), to offering an unique vehicle for solving interdisciplinary problems (H. F. Fletcher, personal communication). In general, academics express great difficulty in separating two activities, graduate teaching and research, but financing for these activities are primarily provincial and federal, respectively. Further, the interface between universities and government is poorly institutionalized. During this study the commonest complaint by academics was that they never knew who they were to contact/deal with in government in relation to environmental research.

The great bulk of university-based research on water could be best described as artisanal science. It is characterized by isolated and unrelated works, for example, one worker studies the benthos of one stream, another the organics of a second stream, a third the inorganics of a different stream, another worker the fishes of a nearby river. Each worker has a rationale for doing his own thing where he chooses, but collectively the bits and pieces add up to far less understanding than if all effort had been directed at a single study area, such as a basin or watershed. This is not to imply that all university research must be part of some master plan. Indeed, the university is the logical place for doing much innovative work.

Perhaps university researchers would be better financed if more of their work was innovative rather than monitoring. A large proportion of university-based research takes the form of primary data collection. In some cases, large sums of money are expected on monitoring environments that are costly to work in or where measurements are costly. Thus, the Great Lakes Institute struggled for years to maintain a monitoring vessel on the lower Great Lakes. (A Lesser Lakes Institute would have been more appropriate to the teaching mandate of the University of Toronto). Similarly, the Kananaskis Centre is involved in conducting large numbers of regular chemical analyses, organic and inorganic, on water quality.

The corollary of this obsession with the technology and mechanics of primary data collection in university programs, is the scant attention paid to data analysis and interpretation in the educational process. This explains, in part, the weakness of data interpretation in many aspects of water-based research within federal and provincial governments. That is, university graduates employed by governments are obliged to work

much of the time with existing information. There could be more in their university training to help them in this role.

This weakness of information analysis and interpretation has another kind of root. Very few Canadians have pioneered in this field. Rare is the university professor who has developed a new approach and a group of disciples to carry the message. This is in contrast with other countries, including some small ones, where such people have emerged. The approach developed by Lance and Williams (Australia) for the analysis of complex biological communities is a good example. The literature abounds with the names of people and places: Jaccards Index, Canberra Metric, Shannon-Wiener Function, Manhattan Metric, etc., outside Canada.

It is desirable that the six 5-year grants to universities be reviewed to assess the successfullness of the experiment. It is essential that the reasons for failure be identified where the large input of federal funds has not resulted in a continuing program. Conversely, in those centers that are alive, the strengths should be documented. This information collated into a report would serve as a guide both to universities and government where similar team approaches are advocated in the future.

University Research Funding

The inability of universities to mount effective programs on aquatic environmental quality is hardly surprising. Financing for university research is provided primarily by the National Research Council of Canada (NRC), and funds for grants-in-aid of research have been frozen since the latter half of the 1960s. In the years since then, attrition through inflation has been severe, with the loss of more than a third the value of research funding in the period 1969–74 (Fig. 3). This policy has not been pursued in other industrial nations (Fig. 4).

University research in the natural sciences for most of a decade has been starved for funds in Canada. Even more obviously, university funding has been starved relative to federal in-house research spending in science (Fig. 5).

Within the NRC grants-in-aid program, relatively little of the $71 million (1973–74) was expended on research into aquatic environmental quality. A review of titles listed in the 1973–74 Annual Report on Scholarships and Grants in Aid of Research yielded 18 projects totaling $118,155 (Appendix 1) or ⅛ of 1% that could be considered to be in this category. Another 17 grants were for studies which in part may have

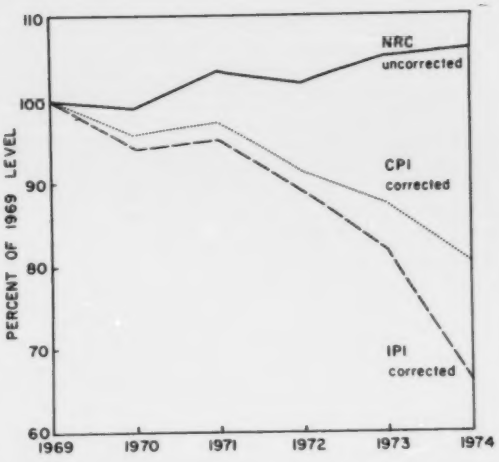


Fig. 3. National Research Council of Canada, science research funding to universities expressed as a percent of 1969 level, and corrected for inflation using Consumer Price Index and Implicit Price Index (CPI and IPI courtesy Statistics Canada).

involved aquatic environmental quality. Whatever the reasons, NRC grants-in-aid are not a major source of funding for research of this kind in Canada. However, a few sizeable development grants were made (Appendix 2).

Funding was made available for research on water in 1968–69 by the Department of Energy, Mines and Resources (EMR). This responsibility was moved to Inland Waters Directorate, Environment Canada, and funding continued for the 5 years of agreements. The federal funds, a maximum of about $865,000 annually, led to the formation or continued support of centers at six institutions: Westwater at the University of British Columbia, Hydrology Division at the University of Saskatchewan, the Agassiz Centre at the University of Manitoba, Waste Treatment Processing at McMaster University, the Institute for Environmental Studies at the University of Toronto, and the CENTREAU at Laval University. Since the end of the 5-year grants, most centers have very limited support and perhaps half of the six will cease to function.

Basic to the kinds of problems described above, and largely responsible for it is the relationship between the federal government and the universities. The British North America Act defines education, including university education, as the responsibility of the provinces. The provinces have agreed, albeit reluctantly, that research within tertiary education could be funded federally. There is, however, no single federal agency

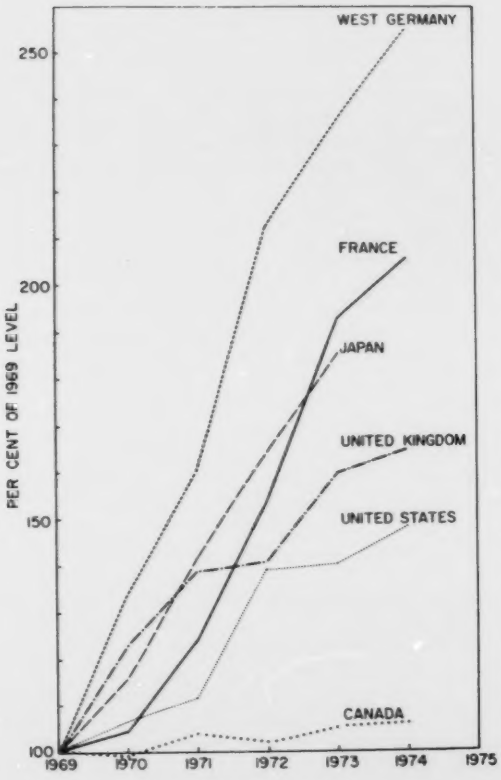


FIG. 4. Support for science research in universities, six industrial nations, 1969–74, calculated as percent increase since 1969.

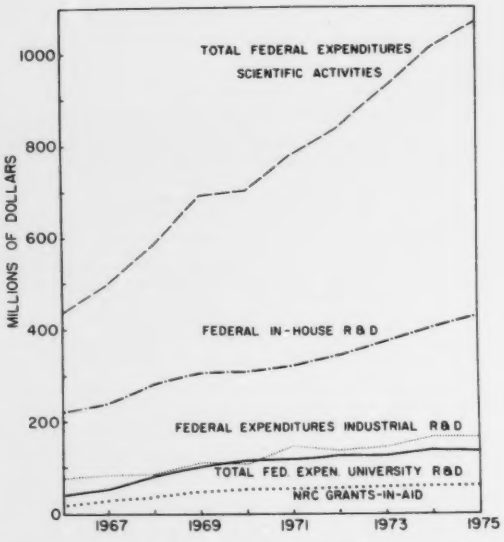


FIG. 5. Comparison of federal expenditure on R&D by sector of performance (Statistics Canada, Cat. No. 13-202).

charged with this responsibility, with the result that each government department or unit within a department establishes its own granting operation. The objectives, approaches, and amounts of money so committed vary greatly between granting agencies. This is apparent in Table 1 in the amounts and percentages of expenditures through the university sector by services in Environment Canada.

Of the total expended for research and development through the universities, 67.3% is by Environmental Management Service and most of this by Inland Waters Directorate. The Fisheries and Marine Service, with a much broader mandate (eutrophication, marine and freshwater biology, marine and freshwater fisheries) accounts for only 16% of the research sponsored by Environment Canada in the universities.

Municipal Waste

In many areas of Canada, domestic sewage is the greatest single cause of reduction in the quality of the aquatic environment. The loss of quality affects man and organisms directly, and the use of plants and animals for human food indirectly.

The problem of disposal of human wastes is an old one. It took on a new urgency with the invention of the flush toilet by William Crapper, as this committed human waste to disposal in water. Modern sewage treatment was devised by Edmund Chadwick in 1843, employing the concepts of lagoon settling and oxidation of high oxygen-demand material. Since that time research into waste disposal has been remarkably modest.

Even more remarkable is the fact that 130 years after Chadwick demonstrated the value of waste treatment, many population centers in Canada, a country with one of the highest per capita incomes in the world, still discharge untreated wastes into ground and surface fresh waters and estuarial and marine waters. This action carries with it risks to health, reduction in environmental quality, and sizeable economic losses that are often ignored.

Treatment and Nontreatment

In general, disposal of domestic and industrial sewage waste is more common and more sophisticated in the interior of the country than in coastal or near-coastal areas. In Alberta all sewered communities have treatment to the equivalent of the secondary level. In Saskatchewan all communities

TABLE 1. Department of Environment expenditures on scientific activities, 1974–75. (Source: Statistics Canada)

Service	Total expenditures	University sector	Percent university
Atmospheric environment	69,842,000	615,000	0.88
Environmental management	79,805,000	2,623,000	3.28
Environmental protection	4,190,000	37,000	0.88
Fisheries	25,248,000	420,000	1.66
Marine	52,268,000	205,000	0.39
Total	231,353,000	3,900,000	1.68

have primary treatment and more than 90% have lagoon treatment with semiannual discharge, that is, the equivalent of secondary treatment. Chlorination is used in communities like Regina and Saskatoon with other communities downstream, and especially North Battleford where the sewage outfall is upstream from the domestic water intake. In Manitoba, 85% of communities over 200 people are sewered and effluent-treated. A few municipalities have inadequate systems, but most deficiencies are being up-graded.

This high level of treatment in the Prairie Provinces is in sharp contrast with the province of Quebec. A mere 11% of domestic wastewater receives as much as primary treatment (Association québecoise des Techniques de l'Eau 1975). Virtually all streams and rivers entering the St. Lawrence River between Valleyfield and Quebec City are contaminated by sewage. All beaches along the St. Lawrence in the vicinity of Montreal are closed to swimming. Until recent decades the waters and shores of the St. Lawrence were a great recreational resource, readily accessible to a large number of people at low cost. Now the St. Lawrence ranks with the Mississippi and Rhine among the most polluted rivers in the world (Ottawa Journal, Aug. 22, 1975). Similarly, many rivers and streams of the St. Lawrence Valley provided convenient water-based recreation. Now rivers like the Yamaska have 3–4 ppm available phosphate from farm and domestic effluent, with the predictable growth of algae.

Given such universal pollution of fresh water, the attitude that pervades the residents of the St. Lawrence valley is that their community can do nothing alone, and that local improvement is pointless if pollution is not stopped upstream. This rationalization for inaction was broken recently with the federal–provincial–municipal agreement on financing the cost of collection and primary treatment (with chlorination) of Montreal sewage. This is obviously an important first step, but neither primary treatment nor chlorination can be construed as a very satisfactory solution to the problem. Occasional "spills" of chemicals point up some of the weaknesses of domestic water supplies. In August 1975, 68.1 kg of the insect repellent neopentyl glycol was spilled into the Ste-Thérése sewer where it reached a concentration of 8.0 ppm. The water intake, 90 m distant, drew enough of this material to give a concentration of 1.6 ppm in the community's potable water supply.

In general, sewage pollution extends to the lakes of the eastern townships, and the accessible lakes of the north shore as far east as Quebec City. Again there has been a serious loss of water-based recreation, with the high *E. coli* levels precluding the use of lakes for body-contact sport, drinking water supplies, etc. Attempts are being made to improve the quality of some bodies of water. In the case of Lake Memphremagog, a mill on the U.S. side is installing tertiary treatment, and communities on the Canadian side will install sewage treatment.

In the Atlantic coastal provinces several large communities, notably Halifax–Dartmouth, Moncton, and St. John's are without treatment of any kind. In addition, a large number of smaller communities discharge untreated sewage directly into tidewater. At the time this was written, three communities, including Edmundston on the Saint John River, lacked treatment. Some river communities are the nemesis of the sanitary engineer; housing strung out along the shore too far apart for economic sewage collection and too close together for safe use of septic systems.

SEWAGE AND SEAFOOD

The costs of sewage treatment are easy to calculate, but the costs of nontreatment often are much more elusive. For example, how do you assign a dollar value to lost recreation? To aesthetic displeasure? One situation where economic loss due to pollution can be measured is the contamination of food organisms. Common U.S.–Canada standards have been set for acceptable levels of *E. coli* in shellfish, thus simplifying regulations for harvest and export–import. These

standards may be exceeded in shellfish exposed to raw sewage and such areas are closed to commercial harvest. In the Atlantic provinces, the 211 closures extend over an incredible 1800 km^2. That is, these food resources are lost to the commercial fisherman. In practice, some shellfish are moved physically from polluted to nonpolluted areas and held in the cleaner water until the *E. coli* count falls to an acceptable level. (Presumably disease-causing bacterial and viruses are also lost from the shellfish at about the same rate.) At the end of this period, about 6 weeks, the shellfish may be harvested. Filtration rate in oysters varies with temperature, and "clearing" times are much longer at low temperatures. This transfer of polluted shellfish is costly in that it is labor-intensive and not practiced widely. Most closed areas remain a complete economic loss.

Pacific closures are neither so numerous nor so extensive in area. These include Nanaimo, Ladysmith, Crofton, Cowichan Bay, Ganges Harbour, Schwartz Bay, etc. Again the loss of the clam and oyster areas for recreational or commercial harvest is regrettable.

The management of shellfish, meaning oysters, clams, mussels, and quahogs (but omitting lobsters and pectens) is undoubtedly more sound than this section might convey. There has been no serious incident of shellfish poisoning since 1972. At that time some 450 people were known to become sick from eating Caraquet (N.B.) oysters. This coincided with the overflow of a lagoon of wastes from a 1000-pig piggery entering the marine environment. Because of the time-lag between pollution and reports of illness, a cause/effect relation was not demonstrated conclusively.

There are obvious research needs associated with shellfish and sewage pollution. One is to determine the fate not only of *E. coli* but of human pathogens, both viruses and bacteria, in oysters. Are these pathogens stored in oysters? How effectively are they flushed out in clean water? Another very important problem to be solved is the level of sewage treatment necessary to achieve a low *E. coli* level in oysters. Is secondary treatment as is now being widely installed in the Atlantic provinces sufficient to do this job?

The habit of eating raw oysters will not change easily. This carries with it a need for special vigilance in monitoring and an especially secure research base for management.

The relation between sewage polluted water and the edibility of fish is less clear. This is due to several factors: most fish are not filter feeders in the same sense as shellfish. Fish are much more mobile, hence it is difficult to correlate cause and effect. Unlike oysters, fish are almost always cooked with the associated death of contaminating organisms. Finally, perhaps fortuitously, some fish species, like Pacific salmons, that come in lengthy contact with polluted water such as the Fraser River, are the fish almost always canned. This involves pressure-cooking at high temperature and the destruction of contaminating organisms.

Yet another concern with sewage pollution of sea water is the subsequent use of sea water for food processing. Fish processing plants for example are scattered along the coastline of the Atlantic provinces. Such plants tend, of course, to be associated with communities, the community using ocean water for waste disposal and the plant using sea water for wash water. Such use is monitored for *E. coli* and pretreatment of sea water may be necessary.

Chlorination of sewage wastes destroys a high percentage of *E. coli* and hopefully an equally high percentage of bacteria and viruses injurious to human health. It does not, of course, lessen the nutrient content of the effluent in the way treatment does. Cities like Montreal and Vancouver, discharging sewage into fresh water, have opted for chlorination. Traditionally fisheries people have objected to chlorination because of the high toxicity of free chlorine and the resulting compounds like chloramines to fishes (Servizi and Martens 1974). The established method of dechlorinating sewage to render it nontoxic is about four times as costly as the original chlorination and is prohibitively expensive. The International Pacific Salmon Fisheries Commission has been researching the problem of inexpensive dechlorination, and met with some success. It is noteworthy here that the agency trying to maintain environmental quality is obliged to do the research; not just the research essential to the protection of the resource (i.e. toxicity studies) but also the research into a methodology of sewage treatment less damaging to aquatic organisms.

Recently, concern has been expressed that some chlorine and organic compounds resulting from chlorination of water are carcinogenic in man. At the time of writing, it was too early to even hint how this may influence thinking about chlorination of sewage. It can be anticipated that a considerable research effort will be made in this area, much of it outside Canada.

On-Land Disposal

With increasing treatment of municipal waste, the problem of sludge disposal becomes more

acute. As these nutrients originated on land, the ideal would be to return this material to the soil surface. This is often impractical simply because of distribution costs. Beyond this there are very practical problems. We do not know the fate of bacteria and virus particles in sludge, for example, used for growing crops for direct human consumption. Do these organisms find their way into root crops, for example? Ironically this specific area of research in Alberta was aborted when federal funding was withdrawn.

Another problem with the use of sewage sludge is the high level of heavy metals in the material and the subsequent uptake of these metals by plants. The high level of metals comes about primarily through industries releasing plant waste into municipal sewers. The organic matter serves in part as a trap for metals. The provincial–municipal concern is for the level of metals in the effluent leaving the sewage treatment plant, as opposed to the federal stance, which is containment of wastes within the individual industrial plant. Generally speaking, the provincial attitude has prevailed.

Some new approaches have appeared, especially in southern Alberta. Spray irrigation with sewage–lagoon material has been attempted and has proven to be economical. Only forage crops have been grown on this treated soil and there has not been a buildup of heavy metals in animals or dairy products.

This is an area with a range of research needs. Certainly any municipal waste that can be applied to land helps to protect the aquatic environment. Leaching of this material (Great Lakes Water Quality Board 1973) needs to be understood to write regulations governing such "waste" disposal. The sources, uptake, and fate of disease-causing organisms and heavy metals need to be understood. Finally, we know that municipal sewage plants are releasing appreciable amounts of heavy metals into receiving waters. How serious this problem is, has to be determined.

Agriculture

Agriculture has the reputation of being the greatest water hog of all (Carr 1966). Direct demands for water are high for irrigation, stock watering, etc., and may also be high for waste removal such as runoff from feedlots. Some farming practices, especially potato culture, can result in large amounts of soil being washed off fields and entering water courses. Chemical fertilizers similarly may be washed off the soil and enter fresh water. This enrichment increases production of algae, detracting from the quality of the water for many other purposes. Finally, many chemicals used in agriculture, particularly biocidal agents like insecticides, herbicides, and fungicides, enter fresh waters in part, accumulate in organisms, and may become highly concentrated in animals at the top of the food chain.

Soil Erosion

Prior to settlement, the southern portion of eastern Canada was a mixed forest of hardwoods and white pine. The forest floor was covered with leaf litter on a few inches of humus. This black humus owed its existence to an annual deposition of leaves, bacteria-inhibiting acidity, and the presence of organic compounds like tannins. The force of the rain was moderated by forest cover and leaf litter. The organic matter of the forest floor had a large capacity for water retention. Thus, raindrop impact erosion and sheet erosion were limited greatly.

Early settlement took the form of clearing the hardwood forests for agriculture. The thin humus was cut off from further supply and the carbon was quickly consumed by bacteria. The exposed subsoils, such as fine clays, were available for and prone to water transport. The result has been the movement of large amounts of soil into streams, rivers, and lakes. The extent to which this happens is a function of the slope of the land, the porosity of the soil, whether the soil is protected by the crop under cultivation, etc. The increase in erosion with removal of forests and use of the land for row crops has been determined by the U.S. Department of Agriculture at 100- to 10,000-fold. For grassland the increase is 20–100 times (Brown 1968). Figures for total soil transport are not available for Canada. In the United States annual transport by rivers is one billion tons, half of which is carried by the Mississippi River and its tributaries (Gottschalk and Jones 1955).

Potato culture is one of the most damaging types of agriculture in terms of erosion. Soil loss on a 12% slope may reach 10–12 tons/acre per year. The life expectancy of such farmland is between 2 and 3 decades. The cause is primarily that the soil is exposed for all but a small part of the year. Erosion is enhanced further by plowing up and down hills, removal of hedgerows, the use of top killing chemicals, etc. It is not easy to assess the impact of potato farming on the Saint John River or on the streams of Prince Edward Island, but it is clear that the effect is considerable.

Draining Wetlands

Perhaps the second stage in early agriculture

was the identification of periodically or continuously flooded land that could be drained for cultivation or pasture. In southern Ontario, 75% of original wetlands have been drained to the present time. Wetlands have a large storage capacity for water, accepting floodwaters each spring and periodic heavy rains. The effect of such wetlands is to moderate flooding greatly by reducing peak discharge, and extending the duration of stream and river flows. The loss of wetlands has accentuated the process of periodic flooding. And, of course, the occupation of such reclaimed wetlands adds to the damage done by flooding.

In Western Canada, wetlands in the form of sloughs or potholes continue to be drained at a significant rate. This process is largely under the control of the individual farmer. It is to the farmers' immediate advantage to maximize his land under cultivation. The use of ultrawide implements, like 40-ft cultivators, is comprised when sloughs interrupt the linear movement of the equipment. The farmer responds to these incentives by draining sloughs if possible, for example, through temporary ditches made each fall with the plow. Provincial departments of agriculture may also make funds available for more major ditching. The federal Department of Agriculture offers advice and encouragement on slough draining (Korven and Heinrichs 1971). In addition to partial or total drainage of wetlands, it is to the farmers' advantage to remove the copse of woods from around the slough and to burn off vegetation of the basin in the fall. This will permit cultivation closer to the water, especially in the event of a dry spring.

The effect of the above has been the loss of about 1%/year of prairie wetlands during the postwar decades. The loss of cover plus nesting material through burning has an additional adverse effect on waterfowl. Clutch survival of early nesting birds such as mallards is very low under these conditions, but the survival of a second nesting on average is good. Removal of cover from the edges of prairie potholes may increase the effectiveness of predators such as coyotes, foxes, skunks, etc., in their search for the eggs and young of nesting waterfowl.

The total effect of wetland drainage on the prairies has yet to be documented. Removal of cover, especially aspen and willow, reduces the amount of snow trapped in the immediate area of the slough. This in turn alters the pattern of water storage and stream discharge. Yet to be assessed is the change in microclimate with loss of cover and loss of stored water. Finally, the role of prairie potholes in aquafer regeneration is inadequately understood.

Irrigation

The concern for the impact of irrigation on aquatic environmental quality centers on two effects: the amount of water consumed and the quality of water returned.

It almost invariably follows that irrigation will be practiced in areas of low precipitation, high temperatures, and high evaporation, and where surface water supplies are modest. In Canada, such areas are the southern interior of British Columbia and the southern prairies. Alberta and British Columbia account for 73% of total lands under irrigation in Canada (Table 2). Considerable expansion of irrigation is planned for southern Alberta and a lesser amount for southwestern Manitoba.

The immediate impact of irrigation is to reduce the amount of water in streams and rivers. Farmers obtain a license or permit to remove a given amount of water from a stream. All too often these have been issued in excess of the amount of water in the stream. In some provinces for example, permits were issued for a total removal equal to the average annual flow. In summer when demand is greatest, the discharge is typically well below the annual average. The entire stream may thus be used for irrigation. The quality of the aquatic environment ceases to have meaning when the quantity approaches zero. Attempts have been made to safeguard the integrity of a stream by asking for a guaranteed minimum flow, or by requesting a permit for water in the name of the trout living in the stream, or in the name of the fisheries agency. These attempts to establish "rights" for a stream have met with very limited success.

Throughout much of the prairie region of Canada where irrigation is practiced, the salt or soluble solids level of the soil is high. As a consequence, irrigation must be practiced in such

Table 2. Farmland under irrigation in Canada 1970. (Source: Statistics Canada)

Province	Acres
Alberta	537,321
British Columbia	220,987
Ontario	99,472
Quebec	92,895
Saskatchewan	77,489
Manitoba	7,330
New Brunswick	3,129
Nova Scotia	1,866
Prince Edward Island	541
Newfoundland	123
Total	1,041,153

a way to carry off not only the salts in the water, but also those accumulated in or on the soil. The surface runoff from such irrigation typically contains dissolved solids at 2 to 4 times the original concentration. The salinity of surface waters thus is increased greatly. In the southwestern U.S., such high salinity waters cannot be permitted to reenter the Colorado River, as the river water would be unacceptable for use further downstream. Such high-salt waters are collected, like so much sewage, and diverted seaward in canals.

Such an extreme case as described above is not likely to happen on the western plains. But it is important to recognize the extent to which water quality will be affected by irrigation practices. Only limited information is available on this problem in Canada.

Groundwater

Considered overall, the supply of groundwater in Canada is not great. Much of the country is closely underlaid by granitic rocks with little or no water storage. The above notwithstanding, ground water is of great importance in many areas of Canada. In Quebec some 450 small communities and innumerable farms use well water for domestic purposes. Prince Edward Island is totally dependent on groundwater for domestic use, including the city of Charlottetown. In Nova Scotia, only the Halifax–Dartmouth area is supplied with surface water. Half the population of Newfoundland is concentrated in the northern third of the Avalon Peninsula and many of these people, for example around Conception Bay, are dependent on well water. Contamination of groundwater in this area is all too common and a potential health problem exists.

On the great central plains groundwater is the commonest source of supply for rural residences and small communities. The dissolved solids of such waters are high in many areas of the south and south-central prairies. Salts in excess of 1000 ppm render the water unacceptable for domestic use, for watering stock, and for irrigation. Such well water discharged into surface waters reduces the quality of streams. A similar problem with the quality of ground water exists in the area southeast of Montreal. The salt content of the water is high, more than 1000 ppm, due to the presence of some old sea water. Cows watered with such groundwater produce saline milk which dairies will not accept. Hence, the supply of well water is useless.

An obvious research need is to establish an inexpensive method of desalinating groundwaters, in particular in units suitable for operation on an individual farm. The Saskatchewan Research Council has pioneered techniques in this area such as freezing groundwater outdoors in winter. This method may reduce dissolved solids from 4000 to 1000 ppm, but research and development is far from complete.

Livestock and Feedlots

Farms in Canada carry about 15 million cattle, 6¼ million pigs, 800,000 sheep and lambs, 37 million chickens, and 342 thousand horses (Statistics Canada). These animals generate 150 million tons of solid waste and 60 million tons of liquid waste annually (calculations based on American Chemical Society 1969). This waste loading is equivalent to a human population of about 70 million people.

By no means all this waste enters fresh water, but a substantial part of it does. Feedlots in particular contribute disproportionately large amounts of waste. The operator prudently locates his feedlot on the banks of a stream to provide his stock with water, and feeding takes place there. During periods of runoff, especially in early spring when the ground is still frozen, liquid and solid wastes enter the streams. This is especially marked in southern Alberta, and this single agricultural practice is the dominant mechanism determining water quality in some watersheds.

Another aspect of the high-density accommodation of cattle along a stream is the impact these animals have on the physical form of the stream itself. Banks are continually broken down and the sediments riled up, rendering the stream a less suitable habitat for aquatic life.

Little work has been done in Canada to assess the impact of agricultural practices, such as location of feed lots, on the aquatic environment. In some provinces guidelines and regulations are emerging, but the research basis for these and monitoring the results of such regulations, remain very modest.

Regulation of the feed lot industry is neither simple nor automatically effective. The number of cattle permitted may be stated on the permit issued, but there is little inspection to verify that this number is not exceeded. Punitive action is rarely taken, simply because the qualifications on a permit such as number of animals, is so arbitrary. That is, how could one convince a judge that 300 head were acceptable, but 305 or 400 or 1000 were not? The data base is inadequate for the protection of the aquatic environment in many respects in relation to the cattle industry.

Fertilizer

It is difficult to define the scope and nature of

chemical fertilizer use in agriculture and the impact on the quality of fresh water. Production (1974) was 12,310,000 tons and domestic sales were 1,827,000 tons. Application varies greatly depending on the value of the crop grown, the nature of the soil, etc. The Holland Marsh at the south end of Lake Simcoe, Ont., is an extreme example. The soil is the organic matter of the drained marsh, rich in carbon but deficient in most other plant nutrients. Chemical fertilizer is applied to the 6000 acres at an average rate of 500 lb/acre, and as high as 800 lb/acre. A fraction of the 3 million lb so applied is washed from the soil, enters the drainage canals, and ultimately the south end of Lake Simcoe. Nicholls and MacCrimmon (1974) measured nitrogen and phosphorus in water pumped from cultivated and uncultivated plots. Nitrogen was 40–50 times and phosphorus 4–5 times greater in the water from the cultivated plot. Most of this fertilizer is contributed to the Holland River during 6 weeks in spring, and 90% of the phosphorus is in the soluble form. This large and valuable lake is undergoing rapid eutrophication, partly because of this nutrient source. But the overall contribution agricultural fertilizer is making to the nutrient loading, hence deterioration in the quality of Lake Simcoe, has not been evaluated critically.

Forestry

In many areas of Canada the forest industry has the largest single effect on the quality of the aquatic environment. The forest industry includes all phases: spraying chemical insecticides, construction of access roads, logging, soil-nutrient leaching, erosion, slash disposal, transport of logs, pulp and paper effluent, use of slimicides, mercury loss, etc. Evaluation of the impact of this industry on the aquatic environment is incomplete. This is due to several features of the industry. Logging operations are carried out mainly in areas with limited access, and then typically via company-owned roads. This results in limited public knowledge of and concern with the effect of forest practices on the environment. Secondly, the impact of logging is exceptionally difficult to measure. Gross effects may be clear enough, such as the decline in abundance of salmon in a river coincident with logging of the watershed. Translation of such gross change into an understanding of the mechanism of action has proved to be difficult. Thus, there has been only limited feedback of precautions from the guardians of the aquatic environment to the forest industry.

Access Roads

Forest access roads, at least until quite recently, were built with little regard for their impact on the environment. Such roads commonly followed streams or rivers. Reports are legion of clay banks being exposed and the endless siltation of a trout or salmon stream. The addition of this erosion material reduces the porosity of the substrate, hence its suitability for the incubation of fish eggs. Such fine material also changes the suitability of the stream for the myriad of invertebrates, especially for those in the interstices of the cobbles and gravel.

The research required here is first to evaluate the impact of road building on a variety of forest areas. Secondly, to establish guidelines for foresters and engineers for siting and construction of forest access roads. Thirdly, this concern for the aquatic environment must be included in the educational experience of foresters in training.

Logging

The immediate effect of logging is to remove the forest cover and expose the land surface to sun and rain. The loss of vegetation reduces water storage, increases impact erosion from rain, with the further loss of organic material from the soil surface. The effect then of logging is to reduce water storage on land and accelerate drainage into streams and rivers. The result is greater flooding, higher water velocities, and increased erosion of the water courses. Along the length of the stream or river there are areas of scouring and silting. Both processes are destructive of the natural habitat of aquatic organisms. Salmonid eggs are exposed and destroyed by scouring or suffocated through siltation. Rivers such as the Upper Pitt River have become much more unstable following logging of the watershed and the salmon populations have declined seriously.

One effect of removing forest cover is to permit full sunlight to fall on the water surface. Often this warms the stream to temperatures in excess of that tolerated by salmonids. The result has been the loss of trout streams, particularly in eastern Canada.

An approach to reducing the deleterious effects of logging has been to leave a band of uncut forest along the sides of major streams. Where the trees are tall and unprotected, it is common for many to be blown over by a strong wind, defeating the purpose for which they were retained.

Research directed at the effects of logging on

the aquatic environment to date has been limited. A common question is: what will be the effect of logging the watershed on the production of trout/salmon in the streams and rivers? Satisfactory predictive models are not available to estimate fish production in streams without logging, let alone after logging. Three projects have been underway to provide some understanding: one short-term (3–4 yr) in the Slim–Tumuch watershed, (Slaney et al. 1973), a second (10–15 yr) on Carnation Creek, a B.C. coastal stream (Narver 1974), and a third in the B.C. interior (Alsea River) (10–15 yr). Results of these studies, for example, in the coastal forests in Oregon, Washington, and British Columbia, are not readily transferable to other physiographic areas. Some research on coastal forest streams will have to be repeated elsewhere in Canada, notably in Quebec.

One consequence of forest harvesting, especially clear-cutting, is an increase in the amount of nitrate in stream waters (Bormann et al. 1968). This may reach levels exceeding public health standards for drinking water. Groundwater nitrate is also increased 5- to 10-fold following clear-cutting (Tamm et al. 1974). The extent to which such nutrients are leached from the soil depends on the nature of the soil and the extent of surviving plant cover. Few such studies have been conducted worldwide and almost none in Canada. A useful research effort could be mounted to establish the extent that nutrients are leached from forest soils after harvesting. Ideally this would not be limited to one soil or forest type.

Water Transport

Historically, most logs cut were moved by water. In the eastern part of the country much cutting was done in the winter and logs were floated downstream with the spring freshet. Another common practice was to construct a dam on a lake outlet to increase water storage, then blowing the dam. The large volume of water leaving the lake carried with it the mass of logs stored on the lake. These practices were extremely destructive of the stream environment, with mechanical destruction of the habitat by both logs and water. Aquatic organisms, for example, were destroyed or displaced far downstream.

Another adverse effect of logging dams was the blockage of the water course to migrating fishes. The outlet of Adams Lake, B.C., was the site of a dam that caused the extinction of a large run of salmon to the Upper Adams River. The genetic information unique to that race of sockeye has been lost and attempts at rehabilitation using other genetic stocks have not been successful. Because of such disasters, logging dams are now viewed with extreme disfavor by fisheries people, and their use generally has been greatly reduced. There are still 5000–10,000 in use in Quebec, and the effects of these need to be researched far better than has been the case to date.

Another aspect of water transport and storage of logs is the deposition of waterlogged wood and bark on the bottom. Such material may accumulate until it is many feet deep, as in portions of the Ottawa River. This organic material is rich in substances like lignin and tannin resistant to bacteria action, and breaks down very slowly. As a bottom substrate, bark is not productive of bottom-dwelling organisms and has a high oxygen demand.

Forest Insecticides

Extensive use of insecticides commenced in 1952 in New Brunswick, in an attempt to control the spruce budworm. The original insecticide, DDT, proved destructive to many nontarget organisms in the forest and streams. The killing of young Atlantic salmon, song birds, and game birds was considered unacceptable and DDT use was discontinued. In 1975 the spruce budworm was prevalent over 7 million acres of New Brunswick, 2¾ million in Nova Scotia, sizeable areas of Newfoundland, Quebec, and Ontario, and parts of Maine and Manitoba. Spraying was limited to New Brunswick and Quebec using fenitrothion. These insecticides have proven to be less toxic to aquatic life and their continued use may be consistent with the recovery and enhancement of the Atlantic salmon. There is doubt, however, to the effectiveness of the spray program; after more than 2 decades of spraying, the 1975 infestation of spruce budworm was the worst to date.

One cost of the spraying program is the considerable number of man-years worked by scientists to establish the toxicity of the insecticides used, especially the toxicity for valuable species like the Atlantic salmon. Another sizeable body of expertise is involved in monitoring the environmental impact of the spray operation. The overall effect then is to commit a large body of scientific expertise to protect the salmon resource from some other human activity. With financial resources limited, such protective work is done instead of rehabilitation and enhancement of the salmon resource.

A very high priority should be given to finding an alternate, more successful method of controlling the spruce budworm.

Also of concern is the amount of insecticide lost or dumped for a host of reasons. One class of dumpings is the jettisoning of loads by spray aircraft. This occurred more than a dozen times from May 20 to June 22, 1975, in New Brunswick alone. Causes varied, some examples were: May 20, plane crashed; May 22, power loss on take-off, 625 gal fenitrothion jettisoned; May 24, bomb bay doors tripped accidentally, 625 gal fenitrothion jettisoned; May 25, 26, power loss on take-off, 625 gal fenitrothion; May 30, seventh full load lost due to failure in hydraulic lines; June 10, 10th incident, plane crashed and burned, 625 gal insecticide vaporized; June 22, jettisoned 550 gal fenitrothion at one airfield, 625 gal dimecron at another.

After the seventh incident, the EPS officer noted ". . . we can be fairly sure that the area around the Juniper airstrip is entirely free of bugs." The wonder is that it was not also free of people.

Pulp and Paper Processing

The production of pulp and paper is by one of two processes, the sulfite or the kraft process. The former is the older and involves the discard of processing water after a single use. The kraft process permits recycling of much of the process water but produces a waste, kraft liquor. The two techniques require quite different plants and cannot be converted, for example, from the older process to the newer. Generally speaking, it is difficult for old sulfite plants to meet modern effluent regulations.

A further complication is that effluents from individual plants of either type are unique in composition and toxicity. Unique, but not necessarily consistent; that is, composition varies. This variability is partly because of the large number of organic substances making up the waste. The philosophy for establishing criteria has had to be different, for example, from that in dealing with mine effluent. The latter material is defined by chemical analysis for its toxic constituents. Pulp-mill effluent is defined in terms of its biochemical oxygen demand and its toxicity to aquatic organisms. Such bioassay testing is both time consuming and costly in terms of facilities. Considerable research effort has been directed to this problem in Canada (Servizi et al. 1966; Servizi and Gordon 1972; Loch and MacLeod 1973). Effluent regulations/guidelines are now being written for the industry. Hopefully, when these guidelines have been compiled, much of this research and monitoring effort can be redirected. There are relatively few sites remaining for the construction of new pulp mills in Canada, thus the further growth of this industry may be slower in future and require less research and monitoring.

In one instance, a new kraft mill has opted for a closed-cycle system which discharges only cooling water. All processing water is recycled within the plant. The incentive for this approach is due in part to the Pollution Abatement Technology Program of Environment Canada. Hopefully this new concept will be adopted by other pulp and paper plants and other types of industries.

Slimicides, Chloralkali Bleach, and Mercury

The forest industry has had two major uses of mercury: in slimicides and in chloralkali production of bleach. In several instances the loss of mercury to the aquatic environment has been great, for example, at Dryden, Ont., and Label-Sur-Quevillon, Que.

That mercury in the environment was a problem was made clear at the 1966 Stockholm Conference. Jensen and Jernelov (1969) published the first report of aquatic organisms converting inorganic mercury to the far more toxic methylmercury. In 1970 Ontario ordered five chloralkali plants and five pulp and paper plants to reduce drastically the amount of mercury they were permitting to escape in wastewater. A joint federal–provincial law suit was launched against Dow Chemical, Sarnia, Ont., and the Lake St. Clair fishery was closed.

Mercury pollution received worldwide publicity with the report of effects on the people of Minamata, Japan. One hundred people died and 700 were blinded or crippled through eating fish contaminated with mercury. The diseased condition of the townspeople had been known for several years before mercury was identified as the causative agent.

Mercury pollution in the Dryden area, the English–Wabagoon River system, became public knowledge in 1971. Particularly affected were the residents of Grassy Narrows and Whitedog Indian Reserves, for whom the fishes of the area made up a large part of their diet. The 8000 people in the English–Wabagoon area have been urged not to consume fish from contaminated waters. Residents of the reservations have found it particularly difficult not to continue eating their traditional fish meals.

The Bell River system in Quebec appears to be even more seriously polluted. Native peoples in the area have shown high levels of blood mercury; 16 exceeded 100 ppb, 10 times the acceptable level. Three people exceeded 500 ppb, and one person 650 ppb.

There is now extensive literature on the dis-

tribution and effects of mercury (Robinson and Scott 1974; Friberg and Vostal 1972; Lambou 1972), and its persistence in the aquatic environment (Uthe et al. 1973). Several aspects remain unsatisfactory. There is still no comprehensive review of mercury in the Canadian environment. This should be prepared in the context of (a) mercury levels in waters and the fishes living therein, and (b) how much of this mercury is endemic and how much is man-made. Again it is necessary to make available the data generated in the extensive fish inspection operations. There is now enough information to make it apparent that there are areas of naturally high levels of mercury in Canada, such as Lake Evans and Lac Mistassini.

Mercury contamination, whether it is natural or man-made, has resulted in the closure of some fisheries and limited use of others. The swordfish fishery was closed in the late 1960s when Canada and the United States imposed a maximum mercury level of 0.5 parts per million. Large tuna are frequently rejected for their high mercury content; tuna slightly exceeding the limit are marketed flaked and mixed with tuna below the limit to yield an acceptable level. It is difficult to imagine how the mercury concentration in the ocean can be reduced. The only alternative approach then to utilizing these high-mercury species is reduce the mercury content of the fish tissue during processing. A research effort to this end seems warranted. This may be economically feasible for valuable species such as tuna and sword fish.

Mining

A metal mine is located at the site of an ore body, and deposits are found typically in the shield or mountain areas, that is, where bedrock is exposed. By definition such areas tend to be remote and sparsely inhabited. Historically, in the predevelopment stage, there was limited concern with the impact of such a mine on the environment. Mining companies were able to negotiate rights to pollute waters, for example, over a considerable area. As population expanded in the area of development, concern for the quality of the local environment increased, but local communities dependent on a mine/smelter for employment showed little enthusiasm for pressuring their employers to protect the quality of their environment. Pressure generated external to the community sometimes was more effective. For example, when fumes from the smelter at Trail, B.C., injured orchards in the U.S., the farmers affected complained to their government, it in turn to the government of Canada, and corrective measures were implemented. Sulfur dioxide recovery there has been exemplary ever since, partly perhaps because the recovery operation resulted in a profitable fertilizer business.

Acid Mine Waste

Many types of mining yield acid wastes. Coal mining for example may expose iron pyrite which, on oxidation, yields sulfuric acid. In areas of extensive strip mining, such as Appalachia, mine wastes have affected adversely large amounts of fresh water. To date, this has proven less of a problem in Canada. Strip mining for coal in the Minto area of New Brunswick has caused some acid pollution problems in streams draining into Grand Lake.

In metal mines, compounds of several toxic metals such as zinc and copper dissolve in acid water. Lead sulfide, for example, is relatively insoluble (Hawley 1972a), but the effect of acid waste may be to put into solution what were the insoluble salts of potentially toxic heavy metals, and make them available in aquatic ecosystems.

One of the worst causes of acid mine waste destroying a valuable fishery resource is the Brunswick #6 mine (Cook and Hoos 1971). The wastewater had the incredible composition of pH 3.0, zinc 389 ppm, copper 31 ppm, and iron 131 ppm (Montreal Engineering 1972). Fish were killed for 3 years before water quality improved sufficiently to permit survival. The Little River, where the old Brunswick #12 mine was located, plus the still-operating mill, is also heavily polluted and is reported to have no fish life in it downstream from the site. The Miramichi River has been monitored for 12 years for copper and zinc (Carson 1974), following the observation of Schofield of the downstream movement of fishes, and that of Sprague (1964), that this correlated with the high concentration of metal ions from pumping out pits and shafts.

Attempts at treating acid mine wastes have met with some success. The abandoned Wedge mine was limed last year while the search continues for a permanent solution. In this instance the company owning the mine is both large and active. No mechanism yet exists for dealing with abandoned mine contamination when the mining company has ceased to exist. Rehabilitation problems have been received by Herricks and Cairns (1973).

Of particular relevance is the work done in Canada on the role of chelating agents in binding toxic heavy metals, and the effect of alkalinity on the availability of metal ions. Especially noteworthy are the contributions of Sprague (1964), Zitko (1970), Wildish et al. (1971), Cook et al.

(1971), Cook and Côté (1972), and Chau (1973).

Mining and Processing Wastewater

Mine wastewater results from water used in the mining operation, from the entry of groundwater into mines and through the accumulation of surface water in open-pit mines. The volumes involved tend not to be very large, but the quality of such water may be affected greatly. Water from the Heath Steele mine (N.B.) has 39 ppm lead and 220 ppm zinc (Montreal Engineering 1972). This incredible toxicity was reduced experimentally by liming (Wells et al. 1974). The Giant mine (NWT) has a wastewater with turbidity of >1000 ppm and arsenic of 176 ppm (Falk et al. 1973). Clarke (1974) noted ammonia, originating from the ammonium nitrate explosives, ranged from 0.2 to 100 ppm.

Processing of minerals requires large quantities of water, an average of 800 gal per ton of ore milled in Ontario (Hawley 1973). The composition of processing water is altered by the addition of a variety of chemicals to enhance or inhibit frothing and flotation, to regulate pH, disperse slime, to act as collectors, etc. These have been documented in terms of their toxicity (Hawley 1972b). Most mills recover and recycle processing water, with some loss and makeup on each cycle. The quality of the final discharge water will vary greatly between mills, depending on the minerals mined and the extraction process in use. The Con mine (N.W.T.) has a discharge water with a hardness of 3065 ppm, chloride 3135 ppm, and arsenic of 6.8 ppm. The Giant mine's wastewater has 8.3 ppm of copper and 15 ppm of arsenic. Organic reagents added to processing water appear in mill discharge in low concentrations; xanthates 0.2–0.4 and dithiophosphate 1.2–10.0 ppm (Montreal Engineering 1972) and Kjeldahl nitrogen 1.3–12.2 ppm (Falk et al. 1973).

Mine Tailings

A common by-product of mining or milling operations is the tailings pond, a settling basin intended to trap particulate matter down to the size of rock flour. The effectiveness of such installations is variable when operational, and these structures are prone to failure when stressed by flooding. The result is the sudden release of large amounts of mine waste into lake or stream environments. For example, two breaches in tailing dykes at the Anvil Mine, Yukon, Mar. 19, 1975, released 162.6 million gal of tailings and decant (toxic and alkaline, pH 10.7). The Pine Point Mine has a tailings pond, but during spring runoff, as much as 50% of discharge passed around the end of the dyke, thus by-passing the decant system (Stein and Miller 1972). These "accidents" are environmental disasters of the first rank. A research effort to design far more "foolproof" tailings ponds is warranted.

However unsatisfactory the tailings pond may be, it is still an improvement over the direct dumping of tailings into the aquatic environment. The most incredible case must be the Reserve Mining Company's (Minnesota) dumping of 67,000 tons of tailings daily into Lake Superior. This has been going on for 19 years (Anon. 1973a, b). This is more than 5 times all the solids entering this lake naturally through shore erosion and transported via the 200 plus rivers entering the lake (Carter 1974). These tailings have now altered, esthetically and ecologically, some 2000 square miles of the lake. Communities at the west end of the lake are obliged to find alternate water supplies. It is inconceivable that Lake Superior, containing $\frac{1}{12}$ of all fresh water on this planet, could have been treated this way. There are two lessons to be learned from this outrage. One is that Canada cannot permit the despoiling of boundary waters to go on for 19 years without registering a formal complaint with the government of the United States. Secondly, Canadians cannot assume that a problem of this kind will immediately be solved by our American neighbors. (This case has been before the courts for 7 years.) Canadians will have to take a greater interest in the abuse of waters common to the two countries. The Boundary Waters Act requires that both countries do nothing to common waters that will lessen their value to the other country. Surely this covenant has been violated in the case of Lake Superior.

Within Canada, lake disposal of tailings is rare. Examples are Wabuch Lake, Labrador, and Benson Lake (Kussat et al. 1972) where lake disposal has now ceased (Hallam et al. 1974).

Air Pollution, Fallout, and Precipitation

Smelting operations may release large quantities of sulfur dioxide and considerable quantities of metals into the atmosphere. Such material is denser than air and the heavier particles appear as fallout in the vicinity of the source. Downdrafts may result in intense local fumigations at ground level. Finally all atmospheric contaminants may be carried back to earth by rain or snow.

Historically, smelting of sulfide ores consisted of roasting, th[illegible]is, oxidation that yielded sulfur

dioxide. For example, in the Sudbury area commencing in 1885 nickel ores were roasted in the open and the fumes destroyed plant life for miles around. (Nineteen eighty-five will mark 100 years that people have been complaining about air pollution in the Sudbury area.)

In certain localities the amount of sulfur dioxide so released may be very large and influence greatly the aquatic environment for some distance. Smelters in the Sudbury area, for decades prior to the closing of Coniston and erection of superstack, released some 2.6 million tons of SO_2 annually. This gas, a precursor for sulfuric acid, is very soluble in water and is returned to earth as acid rain or snow. The effect on the aquatic environment is the acidification of lakes and streams (Gorham and Gordon 1960; Beamish and Harvey 1972). Changes in the biota may be great, with the loss of some or all species of fishes (Beamish 1974; Harvey 1975a; Beamish et al. 1975) and unusual zooplankton communities (Sprules 1975). Other point sources of sulfur dioxide release are having a similar effect elsewhere, such as the sintering plant at Wawa, Ont. (Gordon and Gorham 1963).

The problem of acid precipitation and its effects on fresh waters is not limited to the region of point sources of SO_2 release. The phenomenon has been recognized for many years in Scandinavia. The southern portion of Norway and Sweden receives large amounts of acid precipitation originating in western Europe from burning sulfur-bearing coal and vehicle exhausts (Anon 1972; Willen 1972; Odén and Ahl 1975). If this acid precipitation continues, most fresh waters in the southern quarter of Sweden and Norway will be so acidic as to be inhospitable to desirable species of fishes by the turn of the century.

Recognition of this broader problem has been slow in coming in North America. The impact has yet to be defined of the industrial and domestic pollutants emanating from Detroit, Chicago, Cleveland, Toronto, etc., on the lakes of Ontario. That this industrial belt is affecting the lakes in New York State has been reported (Adirondack League Club 1971; Likens et al. 1972). The need in Canada is for a transdisciplinary study of the problem, where the effect on fresh water, hence the biota, would be but one (albeit important) component.

The first attempts (1973) have been made at reclaiming acid lakes in the Sudbury area (Adamski and Michalski 1975; Schneider et al. 1975). These workers reported on the chemical changes in two lakes following treatment with lime or lime plus calcium carbonate. The following year Hannah Lake was treated with calcium hydroxide and calcium carbonate. The intent was to treat Nelson and Joe lakes in 1975. The further intent is to stock these lakes with fish and create a sport fishery to replace that lost during acidification. What is not known at this time is what species of fish will now flourish in these twice-altered environments. That is, what are the water requirements of fishes in relation to these artificial environments.

Terrestrial vegetation levels of sulfur, arsenic, copper, iron, nickel, and selenium were elevated (Water Pollution Control 1973; Costescu and Hutchinson 1972) especially northeast of Sudbury. Lakes in the area have abnormally high levels of heavy metals, especially copper and nickel, and the limited algal flora is adapted to these high concentrations (Stokes et al. 1973).

Power Generation

Early in the settlement of Canada it was recognized that water power to drive the grist mills and saws of the pioneer economy was available at relatively low cost. Old dams and mills still dot the landscape of eastern Canada. Their effect on the environment, such as impounding a stream into a pond or lake, usually was small. The many dams on rivers such as the Credit, Humber, and Don (north shore of Lake Ontario) undoubtedly contributed to the loss of Atlantic salmon from these streams.

Hydroelectric Dams

Electrification in Canada began late in the 19th century; for example, the first hydraulic generating plant in Ontario was probably that of the Ottawa Electric Light Company in 1881, lighting a lumber mill. Less than a century later there remain few hydroelectric power sites in settled Canada. There is still a sizeable potential in Labrador, in the Quebec portion of the James Bay drainage, on the Nelson River in Manitoba, and on several rivers in British Columbia. Much of this potential development currently is in planning or construction stages. Relative to the total installed generating capacity in Canada and that under construction, there remains little potential for further hydro development, outside of Labrador and British Columbia.

The environmental problems associated with hydro development have been researched intensively in Canada, perhaps better than anywhere else. This work has been collated into several thorough reviews (Andrew and Geen 1960; Geen 1974; Efford 1975; Efford and Smith 1972). The problems associated with dam construction are

many, and several are particularly difficult to research. One of the most intensively studied is that of fish movement and distribution in the reservoir created behind a dam. Both upstream and downstream movement of salmonids is slower, and the fish may become lost. Passing fish by an obstruction such as a dam presents problems of collecting or concentrating the animals at one location, the entrance to a fishway or a transport chamber. Many schemes have been proposed to achieve this with only limited success.

A dam can create a number of other changes in the quality of the aquatic environment. The surface waters of the reservoir may warm to the extent that salmonids will descend to cooler depths. This activity may preclude their downstream escape from the reservoir if the only exit is at the surface. A serious problem on the Columbia River is supersaturation of the entire river with nitrogen, as a consequence of spillway water carrying entrained air to depth and additional gas entering solution under pressure (Harvey 1975b). Another problem is the change in the chemical nature of the water as a consequence of creating a reservoir from a lake or river. Those chemical cues used in fish navigation may be lost.

A considerable body of expertise with experience in researching these problems exists in Canada. Fisheries agencies (provincial, federal, and international in British Columbia in particular) have researched many problems. In general, the policy of provincial and federal governments is that salmon rivers will not be used for power generation. If that policy is reversed in future, new research initiatives would be necessary.

There remains another group of problems associated with hydroelectric development that have been inadequately researched. This is the extremely poor or nonexistent follow-up that accompanied dam construction. Most dams have been built with no preconstruction assessment of environmental change. Thus, we have no knowledge of the effects of the dams on the St. Lawrence River and their possible role in the loss of important fisheries such as sturgeon and striped bass. The recent work of Sutcliffe is unnerving. It would appear that the rivers entering the Gulf of St. Lawrence are the force that drive the circulation of that great and productive water body. Impounding the rivers, thus controlling their spring discharge, profoundly reduced the upwelling of nutrient-rich waters.

Another underresearched problem is the quality of the aquatic environment produced in a reservoir in the sense of productivity. Flooding a river valley initially results in the leaching out of nutrients into the water body and increased biological productivity. This increase tends to be short-lived and fish populations fall to or below their preimpounded level. Proposals for creating reservoirs often contain sections dealing with the new fishery that will be produced with the creation or enlargement of the water body. One is hard-pressed to find an instance in Canada where these anticipated fisheries were realized.

Similarly, sport fisheries in reservoirs have limited popularity. The recreational experience is marred by the innumerable protuding dead trees and by mud flats when the reservoir is drawn down. The gradual destruction of such drowned forest is measured not in years but in decades or centuries.

Impact assessment statements for new dams is a recent innovation in Canada. None was made for the Churchill Falls, Labrador, development, and none was made for the James Bay project, prior to the beginning of construction. Detailed basin studies have now been prepared in connection with the impoundment of the Churchill River, Saskatchewan, and the diversion of the Churchill River into the Nelson River, Manitoba. Smaller studies have been conducted on other rivers, e.g. Snare River, N.W.T. (Weagle and Cameron 1974). It is proposed that South Indian Lake be studied postflooding; if this is done it will be the first evaluation of the environmental impact assessment process for dams and reservoirs. That is, for the first time we will have a measure of accuracy of an assessment. Current ecological concern would force assessment of any additional impounding of B.C. rivers, and hopefully this concern will operate at the remaining dam sites in Labrador.

With the period of expansion in hydroelectric power generation rapidly drawing to a close, it is difficult to see any great need for research initiatives in this area. What damage has been done is done and cannot be undone by a better understanding of the way it happened. Sufficient manpower is available to deal with the modest future expansion of hydroelectric development. Although the data base is weak, it is probably adequate to meet the limited needs of the future.

Fossil Fuel Plants

In the absence of adequate hydro power, historically and still the commonest method of producing electricity has been through burning coal, oil, or gas. The steam produced drives turbines, is condensed, and the waste heat is carried away in cooling water. Such plants have a low efficiency and the amount of heat jettisoned into the envi-

ronment is very great in large plants. Adequate cooling water becomes the first consideration in locating such a plant on a river, lake, or ocean coast. Where water is in too short supply for oncethrough cooling, heat loss may be through evaporation of a smaller amount of water. One advantage of fossil fuel plants is that they can be started up and shut down rather quickly. They are thus particularly well suited to provide peaking-power, with sudden increases or decreases in heat lost, hence the temperature of the cooling water.

The environmental impacts of such plants are many, and have been researched thoroughly in the eastern U.S., especially at plants on the Ohio River within the Tennessee Valley Authority and on the Great Lakes. One effect is the physical attraction of fish to areas of current or warmer water. Typically fish must be kept away mechanically from cooling water intakes and sometimes from the heated water discharge. Cooling water temperature is usually raised 10–20 C and may exceed the upper lethal limit for some or all species, especially in summer. In winter, fish acclimated to warm cooling-water may be suddenly exposed to much lower temperature when a plant is shut down. Sizeable kills of fish have resulted.

Another consequence of heating water is a reduction in its capacity to hold dissolved oxygen. The fish is in the difficult position of increased metabolic activity through elevated temperature and reduced oxygen content with which to meet it. The result may be a reduction in the scope of the animal for additional activity. Over the short term, heating water reduces its capacity to hold nitrogen but gas may not be lost. The resulting supersaturation may cause gas disease (Harvey 1975b) and the death of the animals.

Waste products of fossil fuel burning are a problem. Sulfur-containing coal, oil, and gas yield large quantities of sulfur dioxide that returns to earth as acid precipitation. The extent and the seriousness of this phenomenon is only now being assessed in North America, but the total research effort is still small. Much of the science basic to the problem described above was pioneered in Canada and there exists again an adequate research base both in expertise and information. Much of this base is the work of F. E. J. Fry and his students (Kerr and Lawrie 1976).

Nuclear Reactors

The first commercial production of electricity by nuclear reactor began in Canada in 1962 with the experimental reactor NPD at Rolphton generating 25,000 kw into the Ontario grid. An experimental reactor WR-1 began operating in 1965 at the Whiteshell Nuclear Research Establishment. This unit uses light oil as the medium for heat transport, and the 60,000 kw of heat produced is dissipated into the Winnipeg River. This was followed by the Atomic Energy of Canada Limited (AECL) Candu design at Douglas Point, that came on line with 200,000 kw in 1967. A boiling light water reactor (BLW) was built by AECL and operated by Hydro-Quebec, coming on line in 1970 with a power production of 250,000 kw. The Pickering generating station was built by Ontario Hydro and when the first of four reactors came on line in 1971 it became the world's largest at 2,160,000 kw. Currently under construction is Bruce generating station with four reactors entering service 1976–78 for a total capacity of 3,200,000 kw. Also under construction by Ontario Hydro is Pickering B, which will double the power production of the present station, 1980–82. A reactor generating 3 million kw, sited at Bowmanville will come on line 1981–83 (Ontario Hydro 1974). The next nuclear generating station, to be sited in the North Channel region of Georgian Bay, is in the planning and public discussion stage. The first reactor in the Maritime Provinces is under construction at Point Lepreau, N.B., a single reactor with a power output of 500,000 kw.

It is not clear how soon this rapid expansion of nuclear power in Ontario will be repeated in other provinces. Over the short-term, Newfoundland–Labrador, Quebec, and Manitoba will receive large amounts of hydro power from projects planned or under construction. Alberta and British Columbia have declared for coal-fired plants for the immediate future. Nuclear generating capacity has been predicted for Canada for the next few decades and clearly this is the energy source to which all provinces must turn. It is also germane in such predictions to have regard for increased use of electricity as supplies of fossil fuels diminish. To replace, for example, the natural gas currently consumed with electrically produced hydrogen, would require doubling the currently installed generating capacity.

Nuclear reactors require enormous volumes of cooling water. Pickering pumps a million gallons a minute and the filtering screens serve as a remarkable trap for fishes, especially alewives. Daily "catches" of 30–60 ft^3 are common, 100–200 occasional and as much as 400 ft^3 has been reported. No use has been found for this material and ways of avoiding the collection of these fish are being explored.

The shift in technology of power production

contains both old and new problems of environmental quality. The problem of jettisoning large amounts of heat is common to the use of fossil fuels. For the present at least, this heat loss in so cold a climate as Canada has not created many environmental problems. Also, there is a growing appreciation that this heat may yet have some value. At both Point Lepreau and Pickering, studies are underway to determine the usefulness of such heated water in fish culture. Baie du Doré (Douglas Point) studies have been conducted on the effect of warmer water temperatures on small mouth bass, particularly in the context of spawning and growth.

The greatest concern is for the loss of radioactive material into the aquatic environment. Reactors, of course, are designed to prevent this. The Candu heavy-water design in particular makes such contamination extremely difficult. Heavy water per se is not a hazard but tritiated heavy water is formed during neutron bombardment within the reactor. This material is a beta emitter, penetrates the skin readily, and has a half-life of about 12 years. Emery (1972) reviewed the concern for radioactive contamination of the environment.

The expertise for monitoring radioactivity in the Canadian environment is good to excellent. National Health and Welfare, AECL, Ontario Hydro, and Hydro-Québec are all involved. Health and Welfare Canada carries the primary responsibility for public health, AECL for determining background levels throughout the country and monitoring their own activities, and provincial hydros monitor in a wide area around their facilities. These monitoring responsibilities are entrusted to highly trained people. Technology of monitoring is at a high level of development, is easy to calibrate, and highly reproducible. It is probably undesirable that virtually all expertise in this field is governmental, federal and provincial. This results in an unusual amount of secrecy and with less of the checks and balances in the form a body of expertise outside government, than is the case in other segments of society.

Some problems associated with nuclear reactors remain. One is the fate of spent fuel rods permitted to accumulate for a few decades. This waste material contains some 250 materials, and more than half, including plutonium, are radioactive. The intent is to process this "waste" into usable fuel, but this material is extremely difficult to handle. As the technology for transporting and processing the material is developed, it will have to be subjected to the closest scrutiny with respect to the loss of these hazardous substances into the environment.

A more serious problem with light-water reactors is the amount of trace-element material that escapes from the reactor. In the Candu reactor this loss is minimal and is less than the amount of trace elements liberated in burning soft coal. The extent of the build-up of trace elements in aquatic environments in particular; and the biosphere in general, is inadequately documented. It is essential to know the extent that such material accumulates in living systems and is multiplied in passing up the food chain. In the case of P^{32}, for example, this increase from environment to top consumer is one million-fold.

Transportation

This industry, including road, rail, air, water, and pipeline transport creates a variety of problems in the aquatic environment. These result from the loss of product, from waste disposal, and from special treatments/processes used in the industry.

Shipping

The dominant environmental concern in ocean shipping is the loss of petroleum. Tankers are lost each year from a variety of causes, including human error. The *Torrey Canyon*, for example, struck the best charted rocks in the world. "Accidents" such as this cannot be legislated against. Nor have punitive levels of fines or insurance rates had much effect.

The next level of concern is the loss of oil from tankers washing out bilges at sea. By law, this is to be done not less than 50 miles at sea and oil is to be released at a prescribed rate of so much per mile. In practice this is violated. A supertanker for example jettisoned an estimated 100,000 gallons of crude oil within a few miles of the coast of Florida, August 1975. This combination of accidental spills and bilge cleaning results in a perpetual oil slick on the waters of major Canadian harbors.

Occasionally other products are lost in loading/unloading or at sea. They may attract considerable publicity, as for example in the search for the tank cars of chlorine lost from a barge in the Strait of Georgia. Few instances are recorded where products other than petroleum have been lost in Canadian coastal waters and caused environmental damage.

Ontario currently has a law that requires pleasure craft to have pump-out tanks for holding sewage wastes for subsequent on-land disposal. No parallel legislation is in force for the U.S. half of the four international Great Lakes. Nor is

there any requirement that ocean-going vessels entering the St. Lawrence Great Lakes hold waste for disposal on land or at sea. Vessel transits exceed 6000 annually on the Great Lakes. Most Great Lakes cargoes are bulk, consisting of ore, coal, grains, and limestone; that is, relatively nontoxic materials. The *Edmund Fitzgerald* for example, sank in Lake Superior, Nov. 10, 1975, with a cargo of 26,116 long tons of taconite. Presumably, the 75,000 gal bunker C oil on board was lost to the environment. Since the oil shortage, petroleum shipments on the Great Lakes have risen and now exceed 5 million tons annually. The loss of a tanker the size of the ore carrier *Edmund Fitzgerald* anywhere in the St. Lawrence seaway will constitute an ecological disaster of the first magnitude. The principal concern in Great Lakes shipping must remain the accidental loss of hazardous chemicals. Recalling the disasters caused on the Rhine from the loss of a single barrel of insecticide, there is good reason for concern.

Highways

There are multiple daily accident reports filed by EPS describing the environmental contamination from lost products. The majority are petroleum spills and a small number involve hazardous chemicals. Shipment of hazardous chemicals, including the types of containers, is covered in good legislation, but this cannot prevent a vehicle from leaving the road and losing part or all of its cargo.

A different type of problem is the application of chemicals to roads; salt, calcium chloride, oil, urea, etc. Road salt, for example, is used heavily in eastern Canada and locally has had considerable effect. Some small lakes in Newfoundland show total dissolved solids raised from 50 ppm in summer, to 200 ppm in winter. The sodium chloride content of the lower Great Lakes has more than doubled in the last few decades, and this must be attributed in part to the use of road salt.

Railroads

Historically railroads have taken the attitude that their rights-of-way were sacrosanct. The railroads were not answerable to anyone for what they did along their tracks. Thus, trains discharged sewage directly onto the road bed. Had bus companies tried the same approach, they would have been treated as lunatics.

Derailments and associated loss of material tend to be greater environmental hazards than road spills. This is due to the greater quantity of the material, the tendency to ship hazardous materials by rail, and the often greater difficulty of access for cleanup.

Pipelines

Pipeline breaks have attracted remarkably little attention. These occur in Alberta, for example, at an average rate between one and two per day, and may reach five or six daily. The cause is commonly a shift in soil masses. Cleanup of oil spills typically takes the form of burning the liquid waste and plowing the oil-impregnated soil. Natural gas leaks can be almost as messy, with liquid condensates and sulfur accumulating at the break. In a few instances pipeline breaks in close proximity to water have contaminated aquatic ecosystems. There are few published reports evaluating such impacts. Petroleum spills, exclusive of pipeline breaks, are very nearly a daily occurrence in the range of 100–1000 gal. Even more disturbing is the frequency of larger spills (Table 3).

A related problem is the loss of petroleum products into ground water. More than 500 wells in Canada are contaminated in this way. The cause is typically a leaking storage tank in a service station or furnace oil tank. Such contamination is relatively long-lived and has received limited study. The current method of disposal of "waste" petroleum is typically to dump it on the ground. This may contribute to groundwater contamination in some areas.

Petroleum products in water may contaminate fish to the extent that it is unfit for consumption. This is a problem, for example, in mullet from parts of Moreton Bay, Queensland, Australia. A point-source of this contamination has never been found. The cause may be the sum total of all petroleum wastes entering the Brisbane River. That is, street oil, service station wastes, car wash wastes, and such like. A few instances of "phenol" taste have occurred in fish from inland lakes. Lake Winnipeg would be especially susceptible to this. Some sport fisheries have also suffered from this, such as the Bow River downstream from Calgary, and the North Saskatchewan River. Storm sewer waters may account for a significant portion of this contaminant.

Recreation

Recreation is one of the largest uses made of the aquatic environment in Canada. Generally speaking, recreation requires that environment be of high quality, in the sense of unaltered by human activity. People want to drink, swim in, travel on, dive in, and fish in clear water with

TABLE 3. Selected examples of large petroleum spills, first half of 1975. (Source: Environmental Protection Service)

	Volume (*gal*)	Type	Site
Jan. 19	10,000	Bunker C	Sunoco, Que.
Feb. 10	50,000	Bunker C	Air Canada, Que.
Apr. 7	18,000	Diesel fuel	WPYR, Yukon
Apr. 14	19,285	Gasoline	Imperial, N.B.
May 2	1,000	Gasoline	WPYR, Yukon
May 3	8,000	Cutting oil	Barton Tubes, Ont.
May 3	1,025	Gasoline	Imperial, N.B.
May 8	1,500	Diesel fuel	Golden Eagle, Nfld.
May 11	16,000	Furnace oil	Ouimet Gobeille, Que.
May 22	10,000	Bunker C	Mt. Sinai Hosp., Que.
June 5	30,000	Diesel fuel	Cantung Mine, N.W.T.
July 3	3,000	Bunker C	CNR, N.B.

low levels of disease-causing organisms. Because of this recreational requirement of a high environmental quality, recreation tends to be in conflict with almost every other use of the environment. For example, along the eastern slopes of the Rockies, the streams are the natural foci for summer recreation. Competing, and at times mutually exclusive, uses for this area are: strip-mining for coal, oil and gas exploration, logging, cattle ranching, irrigation water demands, and feed lots.

Nature of Recreation

The total recreational experience cannot be defined in simple terms. The components vary between individuals, and many substitutions in terms of rewards or satisfactions are possible. Many questionnaires have been devised to establish what it is that people want in their recreation. For example, in polling sports fishermen, the act of catching a fish is well down the list of priorities, so far down that fishing is almost the activity of not catching a fish. High on the list of reasons/rewards for fishing are escape from urban crowding, solitude, peace and quiet, fresh air, etc.

If this is the case, then the quality of the aquatic environment for recreation must be viewed from the position of the person seeking recreation. For example, when the first cottage is built on a lake, the resident achieves most or all the objectives sought in the recreational experience. When the second cottage is built, solitude is lost, and more privacy is lost with each succeeding cottage. Soon there is a conflict between developer and resident. The developer seeks to maximize cottage density, hence, financial return on investment, and the residents seek to maximize their rewards by minimizing crowding. Municipal authorities tend to be more responsive to the increased tax base which accrues from development, and to opinions of year-round residents who vote locally than to summer cottage owners who do not. The tendency then is for a lake to become ringed with cottages, often to a to a density that compromises or destroys those values in recreation that attracted people to the area in the first place, The ultimate expression of this is the high density community of cottages extending back from the lake and/or high-rise apartment buildings on the shore of the lake. Such resort living may be anathema to the person who currently enjoys a view of the lake from his cottage, but for the person with no cottage now, these high-density "solutions" may be better than no cottage at all. There are now 395,195 households in Canada with one or more cottages (Statistics Canada).

Environmental Impact

Recreational activities vary greatly in their impact on the aquatic environment. Some activities themselves have very little effect. These include canoeing, sailing, photography, diving, swimming, and nature study. These activities are the same ones, partly by definition, that tend not to spoil the recreational experience for others. Some recreational activities are competitive, such as sport fishing, in that the success of one person may reduce the success of another. There is a third class of recreational activities which tends to be more demanding of the environment and for various reasons may reduce the quality of the recreational experience for others. These include power boating, water skiing, snowmobiling, waterfowl hunting, etc. The actual physical dam-

age to the environment by these activities tends to be small. Lake pollution from outboard fuel has been the subject of several studies and usually no effect could be detected. The effect of the snowmobile has been to extend greatly the territory available for winter recreation. This new mobility in winter has resulted in greater resource use, especially through ice fishing. R. Ryder's observation of a group of anglers harvesting from a lake (accessed by snowmobile) 2 years' production of lake trout in a single day is an alarming one.

There is a need for a better understanding of the value judgments people make in their choice of water-based recreation. Several good attempts have been made at placing a dollar value, for example, on fishing recreation (Sewell and Rostron 1970; Pearse and Laub 1971; British Columbia Fish Wildlife Branch 1971). It would be useful if a group of social scientists could now analyze recreation, identifying and quantifying the experience in terms other than dollars.

Another measurement better left to the social scientists, is how much success at fishing is necessary to maintain the pastime. Obviously this differs between individuals, within the same person over time, and with the "value" of the species pursued. At the present time the quality of sport fishing is measured in part by the kinds and amounts of fish caught. People charged with providing this recreation have little in the way of guidance as to how much is reasonable, adequate, or plush. As a minimum it would be useful, in the face of ever-increasing cottage development, to be able to advise people of the minimum and maximum levels of fishing success they could expect for a given level of development.

Cottage Density

The greatest effect on the environment by recreation is the construction and use of accommodation and other facilities on the lake shore. In a typical scenario the first effect is that of clear-cutting the construction site, and often beyond the site. This is followed by the provision of some form of sewage disposal; direct flow into the lake at worst or disposal field/pump-out tanks at best. Thereafter follows the construction of a dock with the necessary modification of the inshore habitat. The desire to swim close inshore requires that the aquatic vegetation be reclassified "weeds" and removed. To create a beach, sand may be dumped on the more productive substrate. Where "necessary," wetlands are drained and shallows filled in. This is repeated with each cottage builder. Soon the second phase begins: "The lake isn't like it used to be" phase. Loons, herons, and blackbirds are seldom seen; pike and bass fishing deteriorates. The cottagers refuse to associate their activities with the destruction of the aquatic environment and the reduction in these species. It is assumed that everyone can remove the weedy habitat of the bass and drain the spawning areas of the pike without these populations being affected. In the popular jargon, the lakes are simply "fished out."

The growth or expansion of cottage development is still in progress. In Ontario for example, the Ministry of Treasury, Economics and Intergovernmental Affairs has to vet some 11,000 individual requests for land severance for cottage lots annually. In addition, there are developer's type of requests for cottage development on larger tracts of land. During this period of cottage development many problems remain inadequately answered. For example, provincial and municipal officials lack simple, management-oriented models to predict environmental degradation over a range of intensity of development. The first stages of this have been done (Hough Stanbury and Associates 1972; Lakeshore Capacity Study 1974).

A separate model for nutrient loading in relation to cottage development could be very useful to planners and custodians of environmental quality. Such a model would have to be very reliable, with the capability of accurate prediction, and defensible in a court of law. That is to say, were such a model invoked to establish an upper limit on the number of cottages permitted on a lake, it would immediately be challenged, in the context of "Demonstrate that the aquatic environment cannot tolerate even one more cottage." There is now sufficient information to produce such first-generation models and some have appeared.

The bases for such models are the relation between chlorophyll and nitrogen and phosphorus. Sawyer (1947) indicated excessive algal growth would not take place if these nutrients were prevented from reaching defined critical levels. In a logarithmic plot, Sakamoto (1966) presented a linear relation between total phosphorus in spring and summer concentrations of chlorophyll. A model to determine a lake's trophic state was developed by Vollenweider (1968) based on phosphorus loading and mean depth. This attempt was followed (Vollenweider 1969) by a model correcting for flushing rate and sedimentation. Dillon (1974) calculated the inflow of nutrients from a series of lake basins, and Dillon and Kirchner (1975) corrected this for forest cover vs. forest plus pasture.

At least three attempts have been made to apply variations of the above approaches to predict cottage capacity of lakes. Michalski and Conroy (1972) developed a system for classifying lakes by water quality, including attributes important to fishes. Shannon and Brezonik (1972) established critical and allowable loadings of phosphorus for a large group of lakes in Florida. These values may be too high for lakes in Canada. Hutchinson et al. (1973) suggested an approach for modeling nutrients, hence trophic status in relation to cottage development. Dillon and Rigler (1975) presented a model which compares nutrient loading with four arbitrary ranges of chlorophyll concentration. This would permit the planner/manager to categorize a lake and then add cottages until increasing nutrient loading threatened to push the lake into the next trophic category. The cardinal weakness in all these models is the arbitrariness of making a yes–no response (develop more cottages or don't) along a continuous spectrum of nutrient loading. This arbitrariness is unsatisfactory in that it is difficult to defend by the custodian of environmental quality and may not prove useful in law.

There is still a poor understanding of how much nutrient is contributed to a lake via septic disposal systems. Estimates range from all to none. Septic fields located on bedrock have little effect even in delaying the flow of nutrients into a nearby lake. Deep soils, for example at the main camp, ELA Lakes, appear to be trapping all nutrients. Again a model, even a complex one, would be helpful in siting cottages to minimize the flow of nitrogen and phosphorus into the lake.

Finally, there is a need for a further look ahead, a decade and more. Water-based recreation is often energy intensive, with large amounts of petroleum consumed in travel to and from the site, heating the additional dwelling, and in power boating and snowmobiling as activities at the recreational site. What is the fate of such wilderness recreation when petroleum fuels become too scarce/costly to be used for this purpose? In short, what is the role of the aquatic environment in providing recreation in the Conserver Society?

Conclusions

1. Despite the clear repudiation by Bruce and Maasland (1968) of the concept of unlimited fresh water, Canadian attitudes and policies still overestimate both the quantity and quality of this resource in Canada. The temptation was great to entitle this report after the words of F. E. J. Fry: "The great Canadian fallacy — half the world's fresh water."

2. Water quality problems across the country are highly specific to regions. This is further complicated by the diverse stands taken by provincial governments. The attitudes taken by the provinces vary, for example, whether they are headwater provinces, like British Columbia or Alberta, or lowlands like Manitoba. In the cases of the former, they feel little need for a federal presence; in the latter case, only the federal government can protect it from polluted waters entering from the east, west, and south.

3. The greatest effort in pollution control by both federal and provincial organizations, has been in the area of point-source contamination of water. With few exceptions, monitoring and the research base are adequate. In some areas, the effort may be excessive. In contrast, nonpoint sources of aquatic environmental degradation are underresearched and less adequately monitored.

4. Research capability varies greatly between subdisciplines. Where strong schools have emerged, such as in fish physiology, there is a plethora of expertise across the country; or where there has been a major federal research effort, such as chemical monitoring of water quality. Concurrently, there are several areas of serious weakness. The modest body of expertise is inadequate to interpret the water quality data. Remarkably little use is made of indicator species in defining environmental quality; expertise is scant and the research base small.

5. There is a remarkable paucity of innovation in research on freshwater environments. The literature abounds with mathematical models and indices developed outside Canada. Few new approaches, either in technique, economy of effort, or interpretation have been developed in Canada. Three disciplines dominate work on the aquatic environment: water flow, water chemistry, and fish physiology/toxicology. This has its origins in the disciplines of the workers (engineering, chemistry, biology) and is formalized in the mandates of the principle agencies (Inland Waters Directorate; Fisheries Management Service). No mere intradepartmental committee in Environment Canada can bridge these paradigmal and administrative chasms.

6. Compared with that of the federal government, the research contribution of the university sector is now modest and becoming smaller. Financial support for universities through the National Research Council of Canada was frozen

in 1969 and inflation subsequently has reduced the value by more than 40%. Relatively little of the NRC expenditures, perhaps a fifth of 1%, are for 18 grants in aid of research on aquatic environmental quality. The Fisheries and Marine Service grants one-third of a million and Inland Waters Directorate one million dollars annually and some of the monies are for research on aquatic environmental quality. These modest levels of financial support largely determine the effectiveness of the university sector to contribute research and trained personnel in the area of the aquatic environment.

7. Specific governmental initiatives have helped enormously to identify and rationalize regional environmental problems. Most notable are the transdisciplinary basin studies, conducted under federal–provincial agreements, and through the initiative of Inland Waters Directorate. In general, studies on this scale have important goals, are well planned, have clear operational direction, and are adequately financed. The role of small-scale or artisanal science in the achievement of broad environmental objectives is more difficult to define and the value harder to identify; but these alone are not grounds for abandonment.

8. Tragically, the federal government and most provinces have gone their separate ways in terms of methodology of water analysis and the associated data storage base. The various systems are largely incompatible. The Canada Centre for Inland Waters has taken the initiative in evaluating the chemical methods in use across the country, and in that way at least data can be compared.

9. Bruce and Maasland (1968) identified the need for a Canadian scientific periodical dealing with all aspects of water. *The Journal of the Fisheries Research Board of Canada* most closely meets this need.

10. The library service. both within Environment Canada and for science generally, is excellent. Information searches through CAN-OLE and WATDOC provide researchers with extraordinary support.

11. It should be remembered that the large effort and expenditure needed for protection of the aquatic environment is the result of demophoric growth (as defined by Vallentyne 1972). Relatively little effort is expended on research into that root cause. Furthermore, resources expended in protection do not necessarily enhance the species or environment protected. It would be relatively easy to devote all financial and manpower resources to protection at the expense of understanding and meeting the food needs of indigenous peoples, enhancement of Atlantic and Pacific salmon, research on the culturing of scallops and lobster, etc.

Recommendations

Monitoring

1. The need is not for more financial and manpower resources to protect the aquatic environment. The need is for more rational and effective use of existing resources. This can be in many ways, most notably by reducing duplication of federal–provincial effort; by reducing duplication within the federal government; by reducing secrecy in data, hence repeated effort by agencies; by reducing internecine wars between environmental agencies; by more critical review of research, travel, and office expenditures. Too often restraints within the government service are perceived as financial and/or manpower when the root problem is ethical, legislative, territorial, or administrative.

2. The total effort devoted to monitoring pollution in the aquatic environment is not well balanced. The current effort is adequate to excessive in the area of point-source contamination. Diffuse sources of pollution have been largely neglected and warrant a larger effort.

3. There remains a considerable duplication of federal and provincial effort, especially in the area of pollution monitoring. More of this responsibility could be given to the provinces, and the federal effort redirected.

4. One of the first lines of defense in avoiding a mercury-type crisis is the Fish Inspection Branch. Considerable secrecy surrounds the data gathered and the interpretation done on this data. Openness in both respects could only enhance the effectiveness of the surveillance. It would also result in a reduction in duplication of this effort by other agencies needing the same data.

5. A disproportionately large effort is devoted to monitoring water chemistry and fish physiology/toxicology and this could be reduced. The effort expended on ecosystem approaches is small and should be increased.

6. A large effort is being expended on gathering data that are not fully analyzed or used. The interpretation of water chemistry data is especially weak and should be given a higher priority.

7. There is excessive effort applied to the development of new chemical methods for standard testing. Federal laboratories and many provincial laboratories have prepared their own manuals. The incentive to develop new methods appears to have its origins at least in part, in the personal drives of the chemists. In the collection

of routine data, publication is largely restricted to new methodology. Some of this creative drive of the water chemists should be directed at data interpretation.

8. Federal and provincial agencies have adopted individual data bases, making it difficult to share data and interpretation. Over the long term, an effort should be made to minimize the number of bases in use.

9. Long-term monitoring of specific pollution problems warrants closer scrutiny. Some monitoring is directed at what are now nonproblems that are not expected to become problems.

Research

In general — 1. There is a need for the application of systems ecology to the management of environmental quality, with human impact assessed on the whole ecosystem.

2. There is need for a greater research effort on the usefulness of species and communities as indicators of aquatic environmental quality.

3. There is a need for strategies to reduce the amount of testing in both routine water monitoring and pollution control.

4. There is a need for innovation in environmental monitoring.

5. There is a need for research in Canada into approaches and techniques of data analysis.

6. The contribution of the university sector to research on aquatic environmental quality is small. Granting through the National Research Council of Canada with the associated academic peer–review system makes the most effective use of the limited funds available for scientific research in general. But research into specific environmental problems will have to be funded through another route. University research funding through the Department of the Environment currently is small. The role of the universities in environmental research needs to be reviewed. This should be done by a panel with good representation from outside Environment Canada.

7. Workers in different aspects of environmental monitoring such as fisheries, chemical water quality, and water quantity, have remarkably little to do with each other and make remarkably little use of each other's data. Attempts should be made to bridge these gaps, for example, through exchange of researchers working at levels ranging from data interpretation to policy assessment.

8. The current series of watershed studies sponsored by Inland Waters Directorate should be continued and extended. The approach followed could well serve as a model for other large, interdisciplinary studies on the environment.

9. At 5 years of age, Environment Canada is still a very young department. Individuals still have roots in old agencies (Fisheries, Forestry, Energy, Mines and Resources, Meteorological Service, etc.). Many units remain isolated because they are housed in separate, widely-spaced buildings. Special effort is required to get people from the various groups to research together problems that occur at the interfaces between two or more agencies. An example of such a problem would be the effect of air-borne pollutants, originating in the Detroit–Chicago–Cleveland–Toronto area, on the lakes of Ontario. The suggested model is a negotiated cost and work sharing agreement involving federal, provincial, private, and university sectors. Most importantly, the project has an identifiable goal, a beginning and an end.

10. It is not too soon to begin to identify the role of the aquatic environment in the concept of "Conserver Society," as developed by the Science Council of Canada (1973).

By economic sector — 1. Municipal waste from 23 million people is the largest environmental problem in Canada. Municipal waste includes a large portion of the total industrial wastes of the country, in that many industries, large and small, discharge into municipal sewers. The technology for dealing with this waste has changed little in the 60 years since the introduction of the activated sludge process. (a) There is a need for research on the fate of toxic substances in municipal wastes, including heavy metals, insecticides, polychlorinated biphenols, bacteria, and virus particles. Such research is equally relevant for on-land disposal and disposal in water. (b) There is a need for research on the fate of heavy metals, viruses, and bacteria where sewage sludge/effluent is employed in crop irrigation. (c) There is need for research on the level of sewage treatment required for protection of quality of the shellfish resource, and possibly the fin-fish resource. (d) There is a need for research on alternate waste treatment systems in the colder, northern areas of Canada.

2. Recreation carries with it the twin problems of the requirement of high quality for aquatic recreation, and at the same time being destructive of that quality. (a) There is a need for a predictive model relating density of lake usage to lake water quality. (b) There remains a need for specific predictive models of the loss of septic field nutrients into the aquatic environment. (c) There is a need for a better understanding of the nature of water-based recreation. That is, what are the more important value judgments people make in their recreation, and where does quality of water enter into their thinking.

3. Energy demands in all forms continue to have a large impact on aquatic environmental quality. (a) Future demands for electrical energy may be met largely by nuclear reactors. Research needs include loss of radioactive materials into aquatic ecosystems, impact of waste heat, use of waste heat in fish culture, etc. (b) Despite this future shift, there remains a need for the impoundment and flooding studies currently underway. (c) Fossil fuel-fired generators carry the added problem of waste gases and trace metals entering the atmosphere and returning to ground and surface water. (d) A research plus monitoring effort will be required, for example, as tar sands petroleum plants come into operation with their large output of sulfur dioxide.

4. Agriculture has a great demand for water and is destructive of aquatic environmental quality. (a) The chemical fertilizers used in agriculture can have a great impact on water quality. There is a need for research into technology that would minimize the leaching of these nutrients. (b) Agriculture uses a great variety of chemicals as control agents and many enter the freshwater ecosystem. There remains a need for alternatives to some agents still in use. (c) Soil erosion via agriculture, especially potato culture, is great and research is needed into techniques to minimize this. (d) Feedlots on streams affect water quality adversely and mechanical destruction of the habitat by beef animals can be great. The impact of such feedlots needs to be monitored/researched. (e) Irrigation increases the amount of minerals in solution in ground and surface water. A better knowledge is needed of the extent to which this occurs and the effects on the freshwater ecosystem. (f) Wetland drainage continues in agricultural areas with little understanding of the total impact of this activity. Research is needed on the effect on waterfowl, aquafer regeneration, microclimatic changes, stream discharge, and many other aspects.

5. Forestry practices are still destructive of the aquatic environment. (a) There is a need to assess the impact of logging on stream production of salmonid fishing. (b) Little is known of the effect of logging on the leaching of nutrients from soils. (c) Logging dams are still in use in some parts of Canada, and the impact of these structures is poorly understood. (d) Forest insecticides proved very damaging to the aquatic ecosystems. The most destructive agents are no longer in use, but each new agent requires an extensive amount of research prior to acceptance. (e) Research in Canada has yielded a design for a completely closed pulp and paper plant — a plant with zero effluent water discharge. Research into this kind of technological innovation should continue to be encouraged. (f) Mercury has proved to be the most horrifying material used in the industry. Plant losses are now small, but research into the movement of mercury through the ecosystem must be continued. (g) Some fisheries are now closed due to high levels of mercury in the animal tissues. A research effort is warranted to determine if the muscle mercury concentration of tuna or swordfish could be reduced to an acceptable level during food processing.

6. The mining industry has a great variety of impacts on aquatic environmental quality, necessitating a diversity of research efforts. (a) Research must continue on the effects of mine waste waters, especially on aquatic organisms. (b) Mine tailings disposal in water is becoming less common and this research may be reduced soon. (c) Air-borne pollutants from smelters have had a great effect on aquatic ecosystems both in the form of acid precipitation and via heavy metal deposition. A continuing research effort is warranted, especially in view of the scope of the problem. (d) A major research effort into the technology of sulfur dioxide and heavy metal recovery is warranted by smelters that have not yet converted to pollution-free technology.

Acknowledgments

The original Committee on Aquatic Environmental Quality consisted of Dr D. A. Chant (Chairman), Drs G. H. Geen and R. R. Logie. This group was succeeded by Dr L. Berlinguet (Chairman), Dr R. D. Connor and Mr B. McMillan. As the background studies approached completion, the Committee was expanded by five more persons, Mr I. K. Fox and Drs R. R. Logie, K. H. Mann, L. Rousseau, and J. B. Sprague. These people reviewed the draft of this publication in the preparation of their recommendations to the Fisheries Research Board as a whole. The comments of the eight people of the expanded Committee were incorporated in part or in total, into the final draft of this background study. The author is very grateful for the wealth of advice from the Committee.

References

ADAMSKI, J., AND M. F. P. MICHALSKI. 1975. Reclamation of acidified lakes — Middle and Lohi; Sudbury, Ontario. Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 1971–1983.

ADIRONDACK LEAGUE CLUB. 1971. Fish management report for 1971. 23 p.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. 1969. Cleaning our environment — the chemical basis for action. 249 p.

ANDREW, F. J., AND G. H. GEEN. 1960. Sockeye and pink salmon production in relation to proposed dams in the Fraser River system. Int. Pac. Salmon. Fish. Comm. Bull. 11: 259 p.

ANON. 1972. Air pollution across national boundaries. The impact on the environment of sulfur in air and precipi-

tation. Conf. Human Environ., Stockholm, Sweden. The Swedish Secretariat. 96 p.

1973a. Blue water, green water, Part I. Limnos Vol. 5 (2): 2–10.

1973b. Blue water, green water, Part II. Limnos Vol. 5 (4): 2–14.

BEAMISH, J. 1974. Loss of fish populations from unexploited remote lakes in Ontario, Canada as a consequence of atmospheric fallout of acid. Water Res. 8: 85–95.

BEAMISH, R. J., AND H. H. HARVEY. 1972. Acidification of the La Cloche Mountain Lakes, Ontario, and resulting fish mortalities. J. Fish. Res. Board Can. 29: 1131–1143.

BEAMISH, R. J., W. L. LOCKHART, J. C. VAN LOON, AND H. H. HARVEY. 1975. Long-term acidification of a lake and resulting effects on fishes. Ambio 4: 98–102.

BORMANN, F. H., G. E. LIKENS, D. W. FISHER, AND R. S. PIERCE. 1968. Nutrient loss accelerated by clear-cutting of a forest ecosystem. Science 159: 882–884.

BRITISH COLUMBIA FISH WILDLIFE BRANCH. 1971. The value of fresh water sport fishing in British Columbia. Stud. Rep. 5: 60 p.

BROWN, C. B. 1968. Effects of land use and treatment on pollution. U.S. Dep. Health, Educ. Welfare. Publ. Health Serv. Publ. 819: 209–218.

BRUCE, J. P., AND D. E. L. MAASLAND. 1968. Water resources research in Canada. Sci. Secr., Privy Counc. Off. Spec. Rep. 5: 105 p.

CANADA WATER RESOURCE BRANCH. 1974. Dictionary of the national water quality data bank (NAQUADAT). Water Resour. Pap. 144 p.

CARR, D. E. 1966. Death of the sweet waters. W. W. Norton & Company, Inc., New York, N.Y. 257 p.

CARSON, W. V. 1974. Chemical conditions in the Northwest Miramichi River during 1973. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1323: 6 p, 19 tables.

CARTER, L. J. 1974. Pollution and public health: Taconite case poses major test. Science 186: 31–35.

CASS-BEGGS, D. 1961. Water as a basic resource. Resources for tomorrow. Conf. Background Pap. 1: 173–189.

CHAU, Y. K. 1973. Complexing capacity of natural water — its significance and measurement. Abstract of paper presented at the ACS Symposium. J. Chromatogr. Sci. 11: 579.

CLARKE, R. M. 1974. The effects of effluents from metal mines on aquatic-ecosystems in Canada. Tech. Rep. 488: 150 p.

COOK, R. H., AND R. P. CÔTÉ. 1972. The influence of humic acids on the toxicity of copper and zinc to juvenile Atlantic salmon as derived by the toxic unit concept. Dep. Environ. Environ. Prot. Serv. MS Rep. 72(5): 23 p.

COOK, R. H., AND R. A. W. HOOS. 1971. Base metal mine water pollution on the Nepisiguit River, New Brunswick. Dep. Fish. For., Resour. Dev. Branch. 27 p.

COOK, R. H., R. A. W. HOOS, AND R. P. CÔTÉ. 1971. The toxicity of copper and zinc to Atlantic salmon; laboratory and field evaluations with special emphasis on high water hardness concentrations. Dep. Environ. Resour. Dev. Branch MS Rep. 71(16): 88 p.

COSTESCU, L. M., AND T. C. HUTCHINSON. 1972. The ecological consequences of soil pollution by metallic dust from the Sudbury smelters, p. 540–545. *In* Proc. Inst. Environ. Stud. New York, N.Y.

DILLON, P. J. 1974. The application of the phosphorus loading concept to eutrophication research. Natl. Res. Counc. Assoc. Comm. Sci. Criteria Environ. Qual. 42 p.

DILLON, P. J., AND W. B. KIRCHNER. 1975. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds. Water Res. 9: 135–148.

DILLON, P. J., AND F. H. RIGLER. 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on trophic status. J. Fish. Res. Board Can. 32: 1519–1531.

EFFORD, I. E. 1975. Foreword to environmental impact assessment and hydroelectric projects: hindsight and foresight in Canada. J. Fish. Res. Board Can. 32: 98–100.

EFFORD, I. E., AND B. M. SMITH. 1972. Energy and the environment. H. R. MacMillan Lectures in Fisheries, Univ. British Columbia, Vancouver, B.C. 220 p.

EMERY, A. R. 1972. A brief introduction to the relationship of nuclear powered generating stations and the environment. Ont. Dep. Land. For. Res. Inf. Pap. (Fish) 39: 22 p.

FALK, M. R., M. D. MILLER, AND S. J. M. KOSTIUK. 1973. Biological effects of mining wastes in the Northwest Territories. Dep. Environ. Resour. Manage. Branch MS Rep.

FRIBERG, L., AND J. VOSTAL. [ed.] 1972. Mercury in the environment: an epidemiological and toxicological appraisal. CRC Press, Cleveland, Ohio. 215 p.

GEEN, G. H. 1974. Effects of hydroelectric development in western Canada on aquatic ecosystems. J. Fish. Res. Board Can. 31: 913–927.

GORDON, A. G., AND E. GORHAM. 1963. Ecological aspects of air pollution from an iron-sintering plant at Wawa, Ontario. Can. J. Bot. 41: 1063–1078.

GORHAM, E., AND A. G. GORDON. 1960. The influence of smelter fumes upon the chemical composition of lake waters near Sudbury, Ontario, and upon the surrounding vegetation. Can. J. Bot. 38: 477–487.

GOTTSCHALK, L. C., AND V. H. JONES. 1955. Valleys and hills, erosion and sedimentation, p. 135–143. *In* Water, the yearbook of agriculture. U.S. Gov. Print. Off., Washington, D.C.

GREAT LAKES WATER QUALITY BOARD. 1973. Land disposal of sewage sludge. Res. Rep. 16.

HALLAM, R., R. KUSSAT, AND M. JONES. 1974. A biological assessment of Benson lake following cessation of deep lake tailings disposal. Surveillance Rep. EPS5-PR-74-2: 16 p.

HARVEY, H. H. 1975a. Fish populations in a large group of acid-stressed lakes. Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 2406–2417.

1975b. Gas disease in fishes — a review, p. 450–485. *In* W. A. Adams [ed.] Chemistry and physics of aqueous gas solutions. Electrochem. Soc., Princeton, N.J.

HAWLEY, J. R. 1972a. The problem of acid mine drainage in the province of Ontario. Ont. Dep. Environ. 338 p.

1972b. Use, characteristics and toxicity of mine-mill reagents in Ontario. Ont. Dep. Environ. 244 p.

1973. Advancements in the treatment of acid mine drainage in the province of Ontario. Lecture at the Haileybury School of Mines, Haileybury, Ont. 21 p.

HERRICKS, E. E., AND J. CAIRINS. 1973. Rehabilitation of streams receiving acid mine drainage. Va. Water Resour. Res. Cent. OWRR-WRRC-BULL 66: 284 p.

HOUGH STANBURY AND ASSOCIATES. 1972. Lake Altert phase 2. Toronto, Ont. 131 p.

HUTCHINSON, T. C., J. GANCZARCZYK, J. C. VAN LOON, AND P. H. JONES. 1974. Lake status index. The approach, theory, methodology and application of a lakeshore capacity model. Publ. EG-Environ. Sci. Eng. Univ. Toronto, Toronto, Ont. p. 108–128.

INHABER, H. 1974. An environmental quality index for Canada. Science 186: 798–805.

JENSEN, S., AND A. JERNELOV. 1969. Biological methylation of mercury in aquatic organism. Nature 223 (5207): 753–754.

KERR, S. R., AND A. H. LAWRIE [ED.] 1976. Natura naturans: a symposium on the Fry paradigm. J. Fish. Res. Board Can. 33: 297–345.

KORVEN, H. C., AND D. H. HEINRICHS. 1971. Slough drainage and cropping. Can. Dep. Agric. Publ. 1440: 25 p.

KUSSAT, R. H., M. JONES, AND B. LAWLEY. 1972. A cursory evaluation of the deeplake tailings disposal system at Cominco's Benson Lake operation. B.C. Dep. Environ. Fish. Serv. MS Rep. 16 p.

LAKESHORE CAPACITY STUDY. 1974. The approach, theory, methodology and application of a lakeshore capacity model. Inst. Environ. Sci., Univ. Toronto, Toronto, Ont.

LAMBOU, V. W. 1972. Report on the problem of mercury emission into the environment of the U.S. U.S. Environ. Prot. Agency. 81 p.

LIKENS, G. E., F. H. BORMANN, AND M. JOHNSON. 1972. Acid rain. Environment 14: 33–40.

LOCH, J. S., AND J. C. MACLEOD. 1973. Fish toxicity survey of four Prairie Province pulp mill effluents. Dep. Environ. Resour. Manage. Branch Tech. Rep. CENT-73-4.

MEYBOOM, P. 1972. Science in a changing environment. Dep. Environ. Policy, Plann. Res. Serv. Sci. Policy Branch. 69 p.

MICHALSKI, M. F. P., AND N. CONROY. 1972. Water quality evaluation — Lake Albert Study. Ont. Dep. Environ. Rep. 23 p.

MONTREAL ENGINEERING CO. 1972. Northeastern New Brunswick mine water quality program. Fredericton, N.B. 4 vol.

NARVER, D. W. [ED]. 1974. Carnation Creek experimental watershed project annual report for 1973. Dep. Environ. Fish. Mar. Serv. 24 p.

NICHOLLS, K. H., AND H. R. MACCRIMMON. 1974. Nutrients in subsurface and runoff waters of the Holland Marsh, Ontario. J. Environ. Qual. (3)1: 31–35.

ODÉN, S., AND T. AHL. 1975. Man-made changes of the Scandinavian environment and the Baltic Sea. Verh. Int. Ver. Limnol. 19.

ONTARIO HYDRO. 1974. Long-range planning of the electric power system. Ont. Hydro Rep. 556 SP: 33 p.

PEARSE, P. H., AND M. E. LAUB. 1971. The value of the Kootenay Lake sport fishery. Stud. Rep. 3: 58 p.

PIMLOTT, D. H., C. J. KERSWILL, AND J. R. BIDER. 1971. Scientific activities in fisheries and wildlife resources. Sci. Counc. Can. Spec. Stud. 15, Cat. No. SS21-1/15: 191 p.

POPPER, K. R. 1966. The open society and its enemies. Vol. I. 361 p.; Vol. II. 420 p. Revised ed. Princeton University Press. Princeton, N.Y.

ROBINSON, S., AND W. B. SCOTT. 1974. A selected bibliography on mercury in the environment, with subject listings. R. Ont. Mus. Life Sci. Misc. Publ. 54 p.

RYDER, R. A., S. R. KERR, K. H. LOFTUS, AND H. A. REGIER. 1974. The morphoedaphic index, a fish yield estimator — review and evaluation. J. Fish. Res. Board Can. 31: 663–688.

SAKAMOTO, M. 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. Arch. Hydrobiol. 62: 1–28.

SAWYER, C. N. 1947. Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. New Engl. Water Works Assoc. 61: 109–127.

SCHEIDER, W., J. ADAMSKI, AND M. PAYLOR. 1975. Reclamation of acidified lakes near Sudbury, Ontario. Ont. Dep. Environ. 129 p.

SCIENCE COUNCIL OF CANADA. 1973. Natural resource policy issues in Canada. Sci. Counc. Can. Rep. 19: 59 p.

SERVIZI, J. A., AND R. W. GORDON. 1972. Detoxification of kraft pulp mill effluent by an aerated lagoon, p. 45–56. *In* 7th Air Stream Improvement Conf., Can. Pulp Pap. Assoc., Tech. Sect.

SERVIZI, J. A., AND D. W. MARTENS. 1974. Preliminary survey of toxicity of chlorinated sewage to sockeye and pink salmon. Int. Pac. Salmon Fish. Comm. Rep. 30: 42 p.

SERVIZI, J. A., E. T. STONE, AND R. W. GORDON. 1966. Toxicity and treatment of kraft pulp bleach plant waste. Int. Pac. Salmon Fish. Comm. Prog. Rep. 13.

SEWELL, W. R. D., AND J. ROSTRON. 1970. Recreational fishing evaluation. Can. Dep. Fish. For. 133 p.

SHANNON, E. E., AND P. L. BREZONIK. 1972. Relationships between lake trophic state and nitrogen and phosphorus loading rates. Environ. Sci. Tech. 6: 719–725.

SLANEY, P. A., T. W. CHAMBERLAIN, AND T. G. HALSEY. 1973. Effects of forest harvesting practices on the aquatic environment of watersheds in the central interior of British Columbia. B.C. Fish. For. Stud. Prog. Rep. 33 p.

SPRAGUE, J. B. 1964. Lethal concentrations of copper and zinc for young Atlantic salmon. J. Fish. Res. Board Can. 21: 17–26.

SPRULES, W. M. 1975. Factors affecting the structure of limnetic crustacean zooplankton communities in several central Ontario lakes. Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 635–643.

STEIN, J. N., AND M. D. MILLER. 1972. An investigation into the effects of a zinc-lead mine in the aquatic environment on Great Slave Lake. Man. Fish. Ser. Resour. Manage. Branch Tech. Rep. 56 p.

STOKES, P. M., T. C. HUTCHINSON, AND K. KRAUTER. 1973. Heavy metal tolerance in algae isolated from polluted lakes near the Sudbury, Ontario, smelters. Can. Water Pollut. Res. 8: 178–201.

TAMM, C. O., H. HOLMEN, B. POPOVIC, AND G. WIKLANDER. 1974. Leaching of plant nutrients from soils as a

consequence of forestry operations. Ambio 3: 211–221.

UTHE, J. F., F. M. ATTON, AND L. M. ROYER. 1973. Uptake of mercury on caged rainbow trout in the South Saskatchewan River. J. Fish. Res. Board Can. 30: 643–650.

VALLENTYNE, J. R. 1972. Freshwater supplies and pollution: effects of the demophoric explosion on water and man, p. 181–211. *In* N. Polanin [ed.] The environmental future. Barnes and Noble, Inc., New York, N.Y.

VOLLENWEIDER, R. A. 1968. The scientific basis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. OECD Tech. Rep. DAS/DSI/68 27: 1–182.

1969. Moglichkeiten and Grenzen elementarer Modellé der Stoffbilanz von Seen Arch. Hydrobiol. 66: 1–36. (In German)

WATER POLLUTION CONTROL. 1973. Increased heavy metal around Sudbury's smelters. June 1973: 48–49.

WEAGLE, K. V., AND R. A. CAMERON. 1974. The impact of the Strutt Lake hydro project on the Snare River, N.W.T. Dep. Environ. Resour. Manage. Branch, Cent. Reg. Tech. Rep. Ser. CEN/T-74-4: 32 p.

WELLS, P. G., E. PESSAH, AND W. R. PARKER. 1974. The toxicity of raw and treated drainage from Health Steele Mines, N.B., during period September-October, 1974. Dep. Environ. Environ. Prot. Serv. Toxicity Eval. Sect. Surveillance Anal. Div. Atl. Reg. EPS-5-AR-74-14: 27 p.

WILDISH, D. J., W. G. CARSON, AND W. V. CARSON. 1971. The effect of humic substances on copper and zinc toxicity to salmon, *S. salar* L. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1160: 17 p.

WILLEN, T. 1972. The gradual destruction of Sweden's Lakes. Ambio 1: 6–14.

ZITKO, V. 1970. Mining pollution. Presented at FRB Meeting, Halifax, N.S., August 1970.

Appendix 1. National Research Council of Canada Grants-in-aid of Research Closely Related to Aquatic Environmental Quality

Effects of pollutants on the behavior of salmonids	$4,000
Water pollution control by fermentation of waste carbohydrates	6,580
The significance of bdelloribrio bacteriovorus in the ecology of polluted water	9,000
Aspects of environmental biology and pollution in relation to a changing environment in Long Pond, St. John's, Nfld.	2,500
Pollution in soil and water	5,000
Limnology of polluted and other running waters in southern Alberta	8,000
Environmental physiology of fishes. Effects of acidity on fish populations of La Cloche Mountain lakes. Factors influencing formation of circuli and annuli on fish scales	8,000
Environmental influence on fish ecology and behavior	12,000
1) The effect of light quality on photosynthesis and metabolism of freshwater plankton algae	
2) The effect of nutrients derived from agricultural drainage on eutrophication in Lake St. Clair	4,000
Water pollution abatement research	8,200
1) Removal of phosphate from wastewater	
2) Removal of sulphur oxides from stock	
3) Liquid	4,000
Limitations of systems for water pollution abatement	8,000
1) Destructive chemical oxidation in wastewater	
2) Gas holdup in water organic mixture	4,125
Evolution du mercure et de ses composés en milieu aquatique	4,000
1) Water quality changes through Mactaquac Dam	
2) Changes in dissolved gases through Mactaquac Dam	
3) Application of chemicals in the removal of solids from potato wastewater	7,000
A) The occurrence and distribution of metallic pollutants in air, soil, and water around Sudbury and Metropolitan Toronto	
B) Experimental study of uptake and distribution within plants of heavy metals including algae	
C) Interaction of moisture stress and nutritional disorders on transpiration	11,000
1) Bilan thermique d'un écoulement en nature	
2) Modification du régime thermique de la rivière Canaan et conséquences biologiques	5,000

Appendix 2. Other NRC Grants Relevant to Aquatic Environmental Quality

NEGOTIATED GRANTS

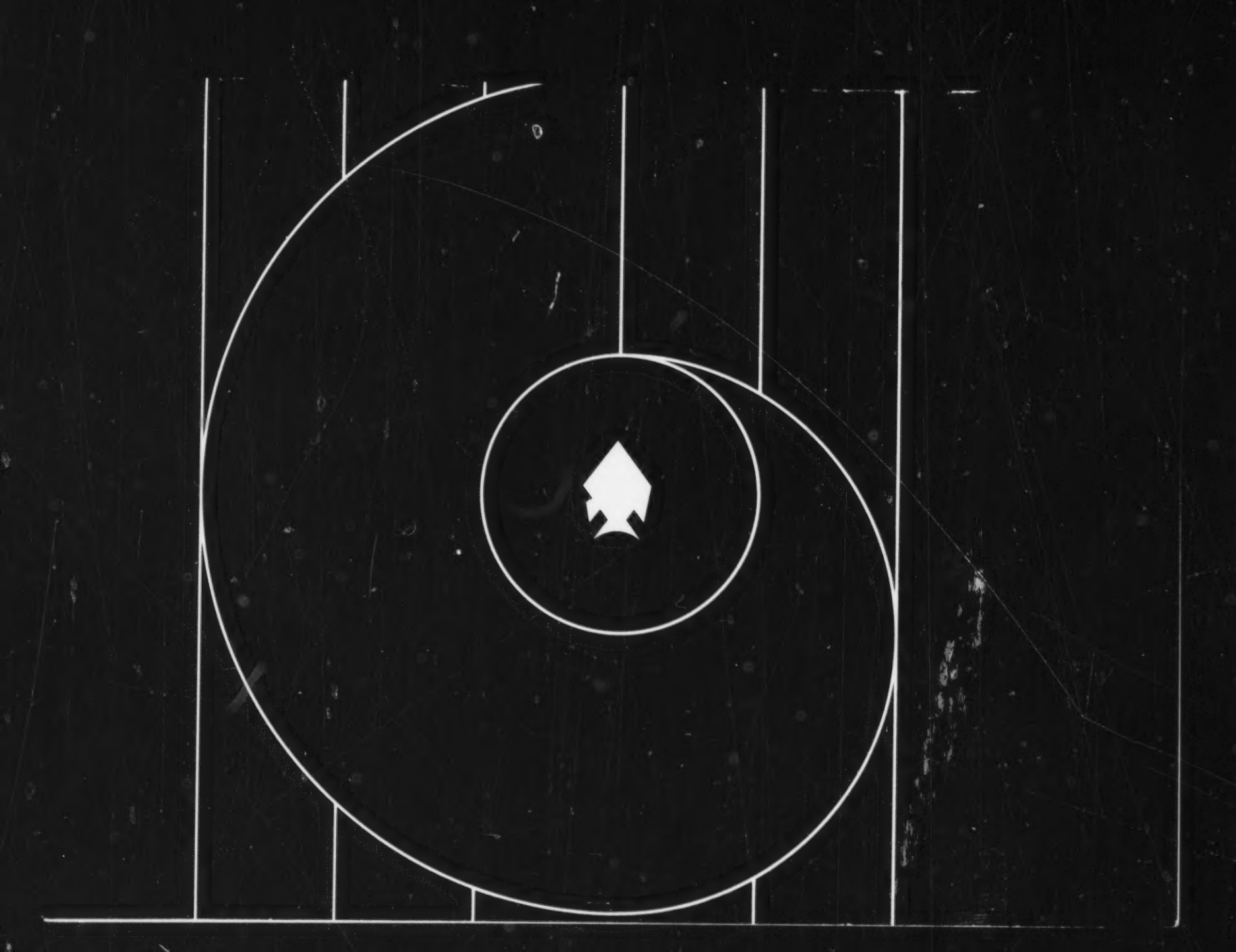
Research in coastal zone productivity environmental and genetic aspects	$119,000
Ottawa River project	101,000
Great Lakes Institute	75,500

REGIONAL DEVELOPMENT PROGRAM — SPECIAL GRANTS

Le recyclage des substances nutritives par per le traitement biologique sélectif des eaux usées dans le programme d'assainissement descaux du Saint Laurent	18,000

CONFERENCE GRANTS

International conference on transport of persistent chemical in aquatic ecosystems 1974	1,000



La série de Rapports de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada comprend des comptes rendus d'études et de symposiums et des rapports spéciaux.

Rapport n° 1 — (The Way Ahead) Colloque marquant le 75e anniversaire de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada.

Rapport n° 2 — L'Office des recherches sur les pêcheries du Canada — soixante-quinze années de réalisation. Par W. E. Ricker.

Rapport n° 3 — Science pour les pêches canadiennes dans les mers du plateau continental. Par H. A. Regier et F. D. McCracken.

Rapport n° 4 — Océanographie biologique au Canada: Perspective et revue. Par T. R. Parsons.

Rapport n° 5 — Natura Naturans: Un colloque sur le paradigm de Fry.

Rapport n° 6 — Développement d'une aquiculture structurée, avec perspective canadienne. Par G. I. Pritchard.

Rapport n° 7 — Science pour les pêches dispersées de l'intérieur canadien. Par H. A. Regier.

Rapport n° 8 — Océanographie physique au Canada. Par C. R. Mann.

Rapport n° 9 — Océanographie chimique au Canada. Par C. R. Mann.

Rapport n° 10 — Science pour la réhabilitation des pêches canadiennes. Par K. H. Loftus.

Rapport n° 11 — Science pour les pêches canadiennes des mers côtières de l'Atlantique. Par F. D. McCracken et R. D. S. Macdonald.

Publié par

Pêches et Environnement Canada

Service des pêches et des sciences de la mer

Direction de l'information et des publications scientifiques
Ottawa K1A 0H3

Published by

Fisheries and Environment Canada

Fisheries and Marine Service

Scientific Information and Publications Branch

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1976

En vente par la poste:
Imprimerie et Edition
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

ou chez votre libraire

No de catalogue Fs 97-10 12
ISBN 0-660-00878-5

Prix Canada $3.00
Autres pays $3.60

Prix sujet à changement sans avis préalable

No du contrat OKT 6-3405
Imprimé par:
Imprimerie Nationale
Joliette, Qué.

RAPPORT DE L'ORP

Qualité de l'environnement aquatique : Problèmes et suggestions[1,2]

H. H. HARVEY

Ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer, Direction de l'océanographie, Ottawa, K1A 0H3

Table des matières

2 RÉSUME / ABSTRACT

2 INTRODUCTION
- Mandat
- Portée de l'étude
- Interprétation et critères
- Méthode d'approche
- Accent et biais
- Un problème mal structuré
- Le paradigme canadien

6 PROGRAMMES COURANTS DE CONTRÔLE CONTINU
- Quantité d'eau
- Qualité chimique de l'eau
- Évaluation chimique et biologique de la pollution
- Contrôle continu de la pollution par les provinces
- Idéologies fédérale et provinciales

8 SYSTÈMES DE PRÉALERTE

9 INDICES DE LA QUALITÉ DE L'EAU

10 ATLAS DE LA QUALITÉ DE L'EAU

10 CONTRAINTES
- Moralité corporative
- Réticence
- Rôle des universités
- Financement de la recherche universitaire

14 ÉGOUTS MUNICIPAUX
- Traitement et non-traitement
- Égouts et fruits de mer
- Rejet sur terre

17 AGRICULTURE
- Érosion du sol
- Drainage des terres humides
- Irrigation
- Eau souterraine
- Bétail et pâturages
- Engrais

20 FORÊTS
- Routes d'accès
- Exploitation des bois et forêts
- Transport par eau
- Insecticides forestiers
- Fabrication des pâtes et du papier
- Désinfectants des boues, agents chloroalcalins de blanchiment et mercure

24 MINES
- Déchets miniers acides
- Eaux usées d'extraction et de traitement
- Résidus miniers
- Pollution atmosphérique, retombées et précipitation

26 PRODUCTION D'ÉNERGIE
- Barrages hydro-électriques
- Usines utilisant des combustibles fossiles
- Réacteurs nucléaires

29 TRANSPORTS
- Maritimes
- Routiers
- Ferroviaires
- Pipe-lines

31 RÉCRÉATION
- Nature de la récréation
- Répercussion sur l'environnement
- Densité des chalets

33 CONCLUSIONS

34 RECOMMANDATIONS
- Contrôle continu
- Recherche

37 REMERCIEMENTS

37 RÉFÉRENCES

39 ANNEXES

---

[1] Version française de «Perspectives», publié dans le *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 1976, 33(11): 2634–2670.

[2] Ce rapport a été préparé, sous contrat, à la demande de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les opinions qu'il contient sont celles de l'auteur et non nécessairement celles de l'Office.

Résumé

HARVEY, H. H. 1976. Qualité de l'environnement aquatique : problèmes et suggestions. FRB Report No. 12: 1–40

L'auteur présente une revue des travaux de recherche et de contrôle continu de la qualité de l'environnement aquatique effectués par les organismes fédéraux et provinciaux, les universités et le secteur privé. On se rend compte que, dans l'ensemble, l'effort canadien manque d'équilibre. Les points forts sont le contrôle de la quantité d'eau, de la qualité chimique de l'eau et de la physiologie - toxicologie des poissons. Les points faibles sont l'emploi d'organismes et de systèmes entiers comme indicateurs de la qualité de l'environnement. Les innovations sont modestes en volume, en partie à cause de la sous-utilisation de la communauté universitaire. Dans certains domaines du contrôle continu, l'interprétation traîne loin derrière la cueillette des données. Il existe présentement plusieurs contraintes à notre compréhension de la source, de la répartition et de la durée des substances toxiques dans notre environnement, et l'auteur discute de ces points en relation avec le mercure. Des problèmes spécifiques de qualité de l'environnement aquatique sont examinés par secteur économique.

Abstract

HARVEY, H. H. 1976. Aquatic environmental quality: problems and proposals. FRB Report No. 12: 1–40

An overview was prepared of research and monitoring of aquatic environmental quality by federal and provincial agencies, the university, and private sectors. The overall effort in Canada was found to be unbalanced. Areas of strength were monitoring of water quantity, chemical water quality, and fish physiology toxicology. Areas of weakness were the use of organisms and the use of whole systems as indicators of environmental quality. The amount of innovation was modest, due in part to the underutilization of the university community. In some areas of monitoring, data interpretation lags seriously behind data collection. A number of constraints now exist to our understanding of the source, distribution, and life expectancy of toxic substances in our environment, and these are discussed in relation to mercury. Specific problems of aquatic environmental quality are discussed by economic sector.

Reçu le 15 avril 1976
Accepté le 13 juillet 1976

Introduction

Cette étude fait partie d'une série commanditée par l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada (ORP) dans les cadres du mandat qu'on lui a donné de conseiller le ministre d'État chargé des Pêches. Le mandat de l'étude a été préparé par le Comité de l'Office sur la qualité de l'environnement aquatique et a été ensuite accepté par l'Office lui-même. Le but de cette étude est de fournir une documentation de base au comité de l'ORP. Il incombait à ce comité de préparer un rapport succinct qui devait être étudié par l'Office et ensuite soumis au Ministre.

MANDAT

R. D. Hamilton et H. H. Harvey ont été chargé chacun d'une partie de l'étude. La portion du mandat touchant ce dernier est la suivante :

Evaluer les programmes canadiens actuels de contrôle continu des paramètres de l'environnement aquatique, mettant l'accent sur les programmes qui s'y rapportent de même que sur leur utilité, individuellement et conjointement. Explorer la possibilité d'utiliser des organismes et des communautés d'organismes comme indicateurs de la qualité de l'eau. Déterminer s'il est faisable et désirable que le fédéral appuie une recherche sur le développement d'indices de la qualité de l'eau et la préparation d'un atlas sur la qualité de l'eau.

Faire la revue et évaluer la pertinence, les priorités, la suffisance et l'efficacité des recherches effectuées par le Service des pêches et des sciences de la mer sur la qualité de l'environnement aquatique, en relation avec l'effort total du ministère de l'Environnement et avec l'effort national dans ce domaine. On devrait accorder une attention particulière à la coordination de la recherche sur la qualité de l'environnement d'eau douce.

PORTÉE DE L'ÉTUDE

Ayant employé la phrase « qualité de l'environnement aquatique », on doit évidemment la préciser davantage et indiquer «pour quoi» et «pour qui». Il faudrait pour cela énumérer la multitude d'activités humaines et de processus non humains qui touchent l'eau. Il serait plus simple de tenter d'identifier les activités et les processus qui n'impliquent pas l'eau.

Dans le sens opérationnel, la qualité de l'environnement est celle définie par Pimlott et al. (1971).

Il n'est pas surprenant de constater que de nombreuses institutions, souvent grandes, ont été établies pour s'occuper de l'eau. De plus, l'eau n'est pas la responsabilité d'un palier de gouvernement particulier. Selon l'Acte de l'Amérique du Nord Britannique de 1867, les gouvernements fédéral et provinciaux se partagent la responsabilité. Comme résultat, huit ministères fédéraux s'occupent de l'eau et presque autant dans chaque province. Les frontières provinciales ont été rarement établies en tenant compte des bassins hydrographiques, ce qui veut dire qu'il doit y avoir interaction entre les provinces d'une part et entre les provinces et le fédéral d'autre part en ce qui concerne les eaux de propriété commune.

En outre, la frontière internationale traverse à mi-chenal la rivière Saint-Jean, le fleuve Saint-Laurent, la rivière à la Pluie et autres cours d'eau; traverse les lacs Memphremagog, Champlain, Ontario, Érié, Huron, Supérieur, Sanite-Marie, à la Pluie, le lac des Bois et autres lacs; les rivières Rouge, Souris, Poplar, Milk, Kootenay, le fleuve Columbia, la rivière Flathead et autres rivières traversent la frontière une fois ou plus. Cela nécessite encore un autre palier d'institutions pour s'occuper de l'eau — les commissions internationales.

Il va sans dire que toute la recherche aquatique n'est pas le domaine exclusif de ces paliers de gouvernement. La recherche du secteur privé, tant des sociétés industrielles que des consultants, est appreciable et augmente rapidement. De plus, les universités ont dans le passé contribué beaucoup à la recherche sur plusieurs aspects de l'eau. Enfin, certains conseils provinciaux de recherches poursuivent activement des programmes de recherches sur des problèmes touchant l'eau.

Le défi consistait donc à évaluer dans leur ensemble ces recherches diverses et de tenter de les classer dans des unités maniables. Ceci, nous l'esperons, permettra de clarifier certains domaines où il y a chevauchement, duplication d'effort, effort insuffisant, et d'identifier les problèmes qui sont demeurés la responsabilité de personne.

Le présent rapport n'est pas une revue de l'état de la science à l'intention des scientifiques. Il est plutôt une étude documentaire pour l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada, qui permettra à ce dernier de faire une revue générale de la politique gouvernementale se rapportant à la qualité de l'environnement aquatique. Cet Office a en effet pour mission de conseiller le ministre d'État chargé des Pêches en matière de politique.

INTERPRÉTATION ET CRITÈRES

Comme partie de son mandat, cette étude doit faire la revue et l'évaluation de la pertinence, des priorités, de la suffisance et de l'efficacité de la recherche sur la qualité de l'environnement aquatique. Comment peut-on mesurer par exemple la pertinence, surtout en regard de jugements de valeurs qui changent rapidement dans le domaine des problèmes de l'environnement? Une façon de le faire est d'évaluer ces choses en termes d'hommes-années et de dollars consacrés à chaque catégorie de problèmes de l'environnement. Ce qui revient à dire qu'on mesure l'effort sans en évaluer l'efficacité. On peut trouver de telles statistiques pour les unités opérationnelles au sein des organismes gouvernementaux, mais non par problèmes spécifiques de l'environnement. C'est ainsi par exemple qu'il est facile d'identifier le budget et le personnel d'une unité de toxicologie dans une station de recherches, mais il est très difficile de préciser l'effort total consacré aux problèmes de l'environnement au Canada ou son efficacité en ce qui a trait au cadmium, par exemple.

Une approche alternative est celle qu'ont adoptée le Conseil économique du Canada (CEC) et le Conseil des Sciences. On mesure la pertinence et la suffisance de l'action gouvernementale, non pas sur la base des montants dépensés mail plutôt par les résultats obtenus. Le CEC par exemple ne conseille pas le gouvernement fédéral sur la façon dont il doit agencer ses ressources financières et humaines, mais plutôt évalue la répercussion sur l'économie des politiques gouvernementales courantes.

Dans le domaine de l'environnement aquatique, la mesure du succès et/ou de l'échec est la fréquence et l'étendue de désastres tels que la crise du mercure, la contamination des Grands lacs par les biphénols polychlorés (BPC), la contamination fécale du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires, etc. Le fait que ces situations se produisent est une mesure de l'échec du système; la fréquence et l'étendue de ces crises sont des mesures de la suffisance du système. L'aptitude du gouvernement à réagir à ces crises est une mesure de l'efficacité du système.

MÉTHODE D'APPROCHE

Tôt dans la préparation de cette étude documentaire, on s'est rendu compte que la recherche sur l'eau au Canada avait un caractère hautement régional et qu'elle devait être évaluée à l'échelle locale. C'était également l'intention de l'étude de mettre en vedette les besoins en recherche clairement fondés sur des problèmes réels. Notre approche a donc été de voyager par tout le pays, d'organiser des entrevues et des ateliers de travail afin d'identifier les problèmes régionaux se rapportant à l'eau. Nos entrevues ont eu lieu entre janvier et septembre 1975, et plus de 400 personnes y ont fourni renseignements et explications. Le temps passé sur le terrain a été divisé régionalement

comme suit : 3 semaines dans les provinces Maritimes; 3 semaines en Ontario; 2 semaines chacune en Colombie-Britannique, en Alberta et au Québec; 10 jours au Manitoba; 1 semaine chacune à Terre-Neuve et en Saskatchewan. Nous avons de plus passé 4 mois dans la région de la Capitale, consacrés en partie à des entrevues, en partie à la correspondance relative aux visites à travers le pays et en partie à la préparation du rapport. Les notes prises durant les entrevues à travers le pays remplissent deux gros volumes. Ce matériel, soit les renseignements et réflexions spécifiques de plus de 400 personnes, a trouvé son expression dans les détails qui trouvent place dans le cadre de ce rapport. S'il nous fallait identifier la source des renseignements et des idées utilisés dans cette étude, le rapport serait extrêmement difficile à lire. Il va sans dire que l'auteur doit beaucoup à tous les collaborateurs. Parmi tous ceux auxquels nous avons demandé de contribuer, nul n'a refusé.

Accent et biais

Les sources de polluants peuvent se grouper en deux grandes catégories. Les sources ponctuelles sont ces foyers de contamination dont on peut déterminer précisément le site géographique. Typiquement, c'est l'effluent d'eaux usées d'une manufacture ou d'une municipalité. Les sources non ponctuelles sont diffuses et, par conséquent, il n'est pas facile d'en préciser l'origine. Des exemples sont les pesticides, les engrais agricoles qui se déversent dans les nappes d'eau, le sel des routes, les BPC, etc.

Au début, pratiquement tous les organismes responsables de la protection de la qualité de l'environnement aquatique dirigèrent leurs efforts vers les sources ponctuelles de contamination. Il y avait pour cela des raisons nombreuses et évidentes. D'abord, il était facile de le faire; c'est-à-dire, il était plus facile de mesure de façon continue l'effluent d'eaux usées à la sortie de l'usine que de suivre la qualité de la précipitation dans une région éloignée. Il est en outre plus facile de traiter avec la clientèle. Par exemple, il est beaucoup plus facile de forcer une usine à se conformer aux règlements que de le faire avec des industries aussi diffuses que l'agriculture, les transports ou les forêts. La réglementation touchant les sources ponctuelles offrait donc le plus grand contrôle de pollution par unité d'effort. Ce n'est pas seulement au Canada qu'on s'occupait de cette seule catégorie de pollutions. L'Environmental Protection Agency des É.-U. a concentré ses ressources sur la pollution ponctuelle et a été éventuellement traduit en cour de justice par des groupes d'environnementalistes pour avoir négligé les autres sources.

Dans l'approche ateliers de travail régionaux à cette étude, les administrateurs et les chercheurs, selon le mandat, parlèrent surtout de problèmes encore non attaqués ou résolus. Beaucoup trop de ces problèmes tombent dans la catégorie des sources non ponctuelles de contamination. Le poids de cette opinion donne donc à l'étude un biais évident en faveur d'une recherche plus poussée sur les sources non ponctuelles de dégradation de l'environnement aquatique.

Autre corollaire à cette approche, les chercheurs interviewés ont parlé surtout de problèmes encore non résolus. Dans l'ensemble, le rapport identifie les points faibles et ignore en grande partie les points forts. Il serait malheureux que le lecteur en retire l'impression qu'il ne se fait rien de bon dans le domaine de la qualité de l'environnement aquatique. Qu'on se rappelle que le but de cette étude n'est pas de se féliciter pour ce qui va bien, mais plutôt de mettre en lumière ce qui ne va pas.

Un problème mal structuré

Les problèmes se rapportant au maintien de la qualité de l'environnement aquatique et les réponses qui leur sont associées tombent dans la catégorie de «mal structurés» de Chevalier. Mal structurés en ceci que les problèmes varient de complexes à énigmatiques, impliquent une variété d'approches isolées et une multitude d'organismes gouvernementaux qui ne s'y rattachent pas du tout, ou encore qui s'y rattachent étroitement.

Un exemple de problème variant de complexe à énigmatique est celui du mercure dans l'environnement aquatique. Le mercure se rencontre naturellement au Canada en quantités localement très variables. Toute évaluation du mercure d'origine humaine requiert donc un immense effort de surveillance et de cartographie. On ne connaît pas la quantité de mercure dispersé dans l'environnement jusqu'à maintenant, et les corporations ne sont nullement tenues de divulger cette information. Il est donc impossible d'établir un bilan de mercure pour un plan d'eau, de calculer les temps de clairance, etc. De plus, l'information sur la teneur en mercure de poissons analysés lors d'inspections de routine (par le fédéral) est tenue comme secrète. Prises ensemble, ces contraintes rendent le problème si mal structuré qu'il est impossible de le rationaliser. Comme résultat, il n'existe pas de revue détaillée ou de vue d'ensemble du problème du mercure au Canada. Aucune analyse de l'effort consacré à la recherche sur le mercure ne peut contourner les énormes contraintes décrites plus haut.

Le problème de la protection de l'environnement aquatique est mal structuré en ceci qu'il implique de multiples paliers gouvernementaux et une myriade d'organismes chevauchant à chacun de ces paliers. Les gouvernements fédéral et provinciaux interprètent tous leur mandat comme incluant l'«environnement», et chaque province à un degré différent. C'est ainsi

qu'un problème qui est la responsabilité fédérale dans une province sera responsabilité provinciale dans une deuxième et responsabilité partagée dans une troisième. Des problèmes touchant l'environnement sur lesquels on fait des recherches (par les officiers fédéraux et provinciaux) dans une province peuvent être considérés comme n'étant pas des problèmes dans une autre province. Au sein du gouvernement fédéral, les problèmes de l'environnement outrepassent les bornes des unités administratives (il n'y a pas lieu de penser qu'il pourrait en être autrement) et impliquent souvent une multitude d'organismes. L'efficacité d'un groupe de travail formé à même plusieurs organismes dépend en premier lieu de la volonté des organismes de coopérer entre eux. L'utilisation des ressources humaines et monétaires vient en second lieu. Les exemples de luttes entre organismes pour la «responsabilité» de problèmes sont légion. Un exemple classique est celui du ministère de l'Environnement et du ministère des Affaires indiennes et du Nord se disputant la responsabilité des problèmes de l'environnement dans le Nord.

Ce sont ces propriétés — politiques, morales, législatives et territoriales — qui définissent la forme du problème de la qualité de l'environnement aquatique. Ce sont elles qui en font un problème mal structuré et, en conséquence, impossible à analyser de façon simpliste.

Le paradigme canadien

L'idée que les Canadiens se font de l'eau est grandement influencée par le volume d'eau qu'ils voient sur les cartes du Canada et par les nombreuses nappes d'eau stationnaire avec lesquelles ils viennent en contact. De plus, ils ont été bombardés de statistiques sur la proportion de l'eau mondiale qui se trouve au Canada et d'autofélicitations pour être ainsi favorisés. Le professeur F. E. J. Fry dit de cette illusion qu'elle est «la grande erreur canadienne — la moitié des eaux douces du monde».

En réalité, la proportion d'eau douce que possède le Canada se rapproche davantage du tiers, mais ce chiffre masque lui aussi une vérité importante. Le Canada reçoit une modeste précipitation, environ 20 pouces en moyenne annuellement (Cass-Beggs 1961). Pour la superficie entière de 3 850 000 milles carrés du Canada, ceci représente 5% de la précipitation totale de 80 milliards de pieds-acres tombant sur les régions terrestres de notre planète (Carr 1966). Le Canada reçoit donc une modeste part de la précipitation mondiale. Par ailleurs, ce qui est distinctif du Canada, il est un pays froid et a par conséquent un faible taux d'évaporation. Le Canada est très jeune au sens postglaciaire du mot et possède donc un grand nombre de dépressions remplies d'eau. Le taux d'écoulement à travers certains bassins peut être très lent; le lac Supérieur, par exemple, a un taux de vidange de plus de 900 ans. De longs temps de remplissage pour les lacs ont une implication sur la quantité d'eau qu'on peut en retirer et sur la persistance de la contamination. Les habitats que possède le Canada en eau douce comportent donc certaines responsabilités spéciales. Il lui faut les utiliser avec prudence, et une fois la qualité diminuée, le temps de rétablissement peut être très long.

Le paradigme aquatique canadien varie énormément d'une région à l'autre, et on peut s'attendre qu'il s'accentuera avec les déplacements de la population. D'un intérêt spécial sont les provinces de «tête des eaux», soit la Colombie-Britannique, l'Alberta et l'Ontario. Ces provinces comprennent présentement, et continueront de le faire, les régions de croissance la plus rapide du pays (fig. 1), mais ne sont pas nécessairement les régions qui possèdent les plus grandes sources d'eau. L'Ontario, par exemple, qui comprend 36% de la population du Canada, ne reçoit que 12% de la précipitation. La plus grande partie de la population de l'Ontario habite une petite superficie, inférieure à 5% de la superficie totale habitée du Canada (Cass-Beggs 1961). La population du sud de l'Ontario n'a à sa disposition qu'une quantité relativement faible d'eau douce renouvelable.

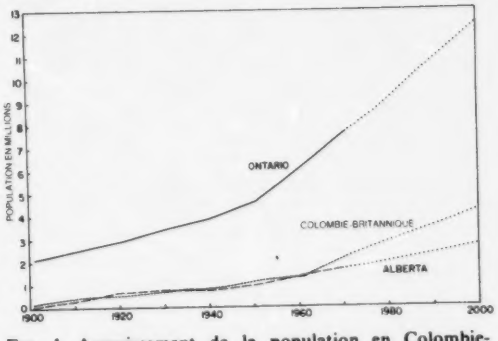


Fig. 1. Accroissement de la population en Colombie-Britannique, en Alberta et en Ontario (Statistiques Canada).

Le sort de la précipitation des provinces des Prairies est une autre anomalie. Ces provinces constituent presque un tiers de la région habitée du Canada, mais ne reçoivent en moyenne qu'environ la moitié de la précipitation du reste du Canada habité. Cette faible précipitation et une forte évaporation ont comme résultat un faible ruissellement; les Prairies ne reçoivent en moyenne que 2.8 pouces ou 6.5% du total national. Cette rareté de l'eau dans les Prairies a amené les provinces à s'accorder sur la façon d'en disposer : l'Alberta passe à la Saskatchewan la moitié de toute l'eau d'origine albertaine, la Saskatchewan passe au Manitoba la moitié de l'eau qu'elle reçoit de l'Alberta et la moitié de l'eau prenant naissance en

Saskatchewan. Deux des villes, Calgary et Edmonton, à croissance la plus rapide du pays (ou du monde) (fig. 2) chevauchent les deux plus importantes sources

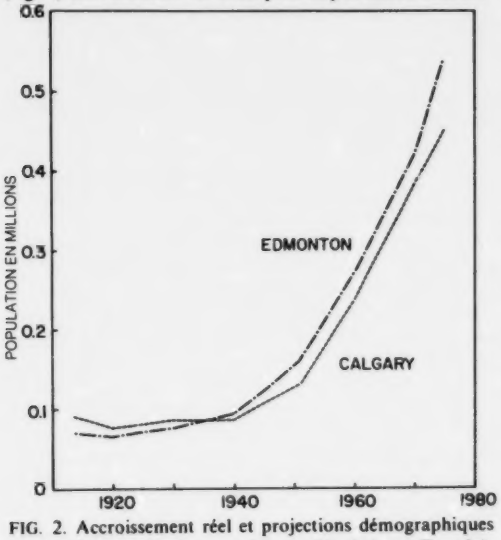


FIG. 2. Accroissement réel et projections démographiques pour Calgary et Edmonton, Alberta (Statistiques Canada).

d'eau des Prairies. Ces rivières, la Saskatchewan-Nord et la Bow, ne sont pas grandes comparées aux populations et aux industries qui leur sont associées. La qualité de sources de cette nature doit être l'objet d'une préoccupation spéciale.

Programmes courants de contrôle continu

Plusieurs de ces programmes sont reliés entre eux. Comme exemple, la quantité de l'eau a une valeur limitée sans une certaine connaissance de la qualité. Ou encore, connaître la composition chimique d'un cours d'eau à un point quelconque dans le temps a une valeur limitée si on ne sait pas si elle a été déterminée à un moment de haut ou de bas niveau, d'un orage ou d'une crue, etc. De même, une connaissance de la composition chimique mais non du débit, ou du débit mais non de la composition ne nous permet pas de calculer le transport par le cours d'eau. On ignore trop souvent l'interdépendance des systèmes de surveillance continue, la plupart du temps parce ces systèmes logent dans des organismes différents du gouvernement.

Quantité d'eau

L'organisme responsable est la Division de l'hydrologie appliquée, Direction des ressources en eaux, Direction générale des eaux intérieures (DGEI), Environnement Canada. Cet organisme surveille le débit de l'eau dans 9 des 10 provinces; Québec a assumé la responsabilité de son propre territoire en 1964. L'Ontario maintient quelques stations en plus des stations fédérales. Le point central de cette opération est le système de codification défini en 1922 pour l'identification des stations de jaugeage. Les cartes qui leur sont associées ressemblent à prime abord aux cartes des bassins hydrographiques et leur emploie à tort a causé bien des déboires.

Les données sur le débit sont relativement simples et se prêtent bien au stockage en mémoire de l'ordinateur. Quelque 133 millions de caractères sont présentement stockés. La publication se fait par impression en photo-offset à partir de sorties sur imprimante des rubans. En plus de l'impression annuelle des données provenant de toutes les stations, on publie à tous les 3 ans un résumé couvrant les 20 années précédentes.

Il serait bon que les autres programmes de contrôle continu soient autant que possible reliés à la quantité de l'eau afin d'utiliser au maximum l'information où il y a corrélation.

Qualité chimique de l'eau

On est tenté d'affirmer qu'il y a une multitude d'organismes qui recueillent des données sur la chimie de l'eau; c'est peut-être une illusion seulement.

Selon la Loi sur les ressources en eau du Canada, la Direction générale des eaux intérieures a la responsabilité d'établir les normes de qualité de l'eau par tout le pays. Des laboratoire régionaux sont chargés de cette tâche. Leurs rapports sont transmis aux quartiers-généraux par le truchement d'un système d'information, le NAQUADAT (Direction des ressources en eau du Canada). Les renseignements ainsi recueillis sont publiés périodiquement; par exemple, les données de la Colombie-Britannique couvrant une période de 10 ans ont été publiées en 1975, les données relatives au Yukon et à l'Alberta sont sous presse. De plus, la DGEI poursuit des études dans les bassins hydrographiques, ordinairement selon des ententes sur le partage des coûts avec les provinces et les autres organismes fédéraux. Ces études dans les bouché sur plusieurs rapports détaillés sur des bassins hydrographiques tels que ceux des rivières Saint-Jean, Churchill, du fleuve Nelson, etc.

Le rôle de la DGEI est donc de fournir des données de base sur la qualité de l'eau. Presque de facto, ceci devient le fondement sur lequel établir les objectifs de la qualité de l'eau d'un bassin hydrographique. Par après, la surveillance et la protection deviennent le rôle du Service de protection de l'environnement (SPE).

Évaluation chimique et biologique de la pollution

Au début, le Service de protection de l'environnement était l'instrument du ministère des Pêches chargé de l'observance des règlements, c'est-à-dire de l'application de la Loi sur les pêches. Un article de cette loi spécifie en effet qu'on ne peut jeter dans l'eau aucune matière nuisible aux poissons. Comme telle, cette loi confère des pouvoirs énormes, en fait ou en puissance. Elle n'est cependant pas générale au point qu'aucune autre législation ne sont requise. Comme exemple, la Loi sur les pêches ne s'applique pas s'il n'y a pas de poissons ou si le matériel offensif, tels le mercure ou les BPC, n'est pas toxique pour les poissons, mais est toxique pour les animaux à sang chaud qui se nourrissent de poissons.

Le Service de protection de l'environnement exerce un contrôle suivi de la qualité de l'eau dans le contexte de pollutions et de contaminations spécifiques. Selon l'Acte de l'A.N.B., ceci peut être, et est en fait interprété comme étant une responsabilité soit fédérale soit provinciale. L'intérêt fédéral comporte de multiples aspects. Le gouvernement fédéral ne veut pas, par exemple, qu'qucune partie du pays ne devienne un «refuge de pollution». C'est-à-dire, il ne veut pas encourager une industrie malpropre à s'établir et à opérer dans une province dont les normes de pollution sont moins strictes. L'attitude du fédéral est donc de contrôler la pollution à la sortie de l'usine. Plus précisément, surveiller l'effluent de chaque usine individuellement. La philosophie fédérale est de contenir la pollution à l'intérieur de l'usine.

Contrôle continu de la pollution par les provinces

Les provinces possèdent des organisations équivalentes, ordinairement à l'intérieur d'un ministère provincial de l'Environnement. Il y a de grandes différences entre les provinces quant à l'âge, le pouvoir l'expérience et le mandat. Plusieurs organismes provinciaux possèdent une haute compétence. Par exemple, la Direction du contrôle de la pollution, C.-B., comprend plus de 80 personnes au laboratoire et plus de 60 sur le terrain. On fait chaque année plus d'un demi-million d'analyses d'eau. Chaque cheminée et chaque tuyau d'égout de la province doivent opérer avec permis. Le Directeur reçoit chaque semaine une sortie sur imprimante de l'ordinateur montrant toutes les infractions dans la province, et l'action peut être planifiée en conséquence. Les permis sont l'objet d'une révision périodique afin de s'assurer qu'ils sont toujours conformes aux normes prescrites. Il y a exception pour les effluents d'eaux uséees industrielles qui sont déversés dans les égouts municipaux. De tels effluents ne sont pas soumis à un contrôle au point où ils pénètrent dans les égouts, mais le contrôle se fait surtout de l'eau sortant des usines de traitement des égouts.

Idéologies fédérale et provinciales

Cet exemple fait ressortir la profonde différence entre les attitudes du fédéral et des provinces : retenue vs dilution. Inhérente au concept de dilution est l'obligation d'établir des normes pour l'eau réceptrice. Il faut inventer des concepts tels que «capacité d'assimilation», c'est-à-dire quelle quantité et quelle sorte de polluants une eau réceptrice peut-elle tolérer. L'hypothèse simpliste est que (1) à un niveau magique quelconque de concentration, il n'y a pas d'effet sur la chimie de l'eau ou sur les organismes, et la pollution peut continuer à ce niveau sans qu'il y ait de problèmes, ou encore (2) l'effet du polluant est progressif, et il est possible de définir un niveau acceptable d'effet de la pollution. C'est ainsi par exemple, que la perte d'un tiers de la diversité des espèces d'une communauté d'organismes pourrait être considérée comme acceptable.

Un autre concept mystique est celui de la «zone de mélange». Il s'agit de la région des eaux réceptrices où les polluants pourraient pénétrer, où aucune mesure de pollution ne serait faite et où aucun contrôle ne serait appliqué. Il s'ensuit naturellement que si l'on détectait des niveaux de pollution inacceptables en dehors de la zone de mélange, c'est que la zone de mélange est trop petite!

Les avocats et les ingénieurs ont inventé et utilisé ces concepts de «capacité d'assimilation» et de «zone de mélange» comme s'ils étaient fondés sur la théorie scientifique. Le dogme écologique ne renferme rien, par exemple, à l'effet qu'un cours d'eau peut perdre une fraction de ses espèces et maintenir quand même son intégrité.

La dichotomie entre les approches fédérale et provinciales est une autre source de problèmes. La position fédérale exige des normes identiques dans tout le pays pour les eaux réceptrices. Les provinces insistent sur des normes flexibles à cause de différences régionales dans la chimie de l'eau (dureté, alcalinité), non seulement entre les provinces, mais à l'intérieur des provinces.

La philosophie provinciale peut, lorsque appliquée aux eaux usées industrielles et municipales, avoir de sérieux effets. Par exemple, le fait de permettre à des eaux usées industrielles non contrôlées de se déverser dans les égouts peut résulter à la fin en des eaux usées mélangées contenant des toxiques synergétiques. La teneur en métaux lourds des égouts municipaux peut empêcher l'emploi de ce matériel comme engrais.

Comme on peut s'y attendre, c'est dans ce domaine de la protection de l'environnement que les

gouvernements fédéral et provinciaux sont si souvent en conflit. C'est là que se manifeste le plus souvent la maladie canadienne, le «syndrome fédéral-provincial». Cette maladie est alimentée en partie par la présence de deux organisations parallèles, une fédérale et l'autre provinciale, ayant des mandats et des compétences identiques. Dans certains cas, la duplication de l'effort est considérable. La politique la plus récente d'Environnement Canada a été de permettre aux provinces d'assumer ce rôle quand elles le désirent et ont les ressources suffisantes pour remplir ce mandat.

Depuis, les occasions d'initiatives de recherche par le fédéral sont limitées. Chaque province possède son propre laboratoire. Presque toutes ont mis au point leurs propres méthodes d'analyse. Presque toutes ont leurs propres bases de données, incompatibles avec celle du fédéral. Les systèmes de permis diffèrent d'une province à l'autre. Certaines provinces ont leur propre réglementation ou directives pour des industries spécifiques. Bref, en l'absence d'initiatives fédérales au début, les provinces ont marché chacune dans leur propre voie. Les organisations provinciales de contrôle ne voudront pas maintenant changer leur méthodologie ou leurs bases de données en réponse à une initiative fédérale.

Le fédéral a lancé plusieurs initiatives dont les provinces peuvent profiter. Le Centre canadien des eaux intérieures (CCEI) fournit des échantillons d'essai à tous les laboratoires qui veulent y participer et publie une comparaison des données de tous les participants. L'Institut des eaux douces et le CCEI organisent des colloques sur une gamme étendue de sujets se rapportant à la qualité de l'environnement. Les systèmes fédéraux de recherche documentaire, le service de recherche de résumés analytiques et le service de résumés sur la pollution sont tous à la disposition des provinces. Le gouvernement fédéral a pris l'initiative d'une série d'ateliers de travail avec forte représentation provinciale, dans le but de préparer des directives et des règlements pour chaque groupe d'industries au Canada. La plainte des provinces dans ce cas n'est pas que le fédéral n'en fait pas assez, mais plutôt qu'il en fait trop! Les provinces ont peine à trouver une personne compétente pour prendre charge d'une douzaine d'équipes d'étude.

Le fédéral serait justifié de prendre d'autres initiatives dans plusieurs domaines : (1) Trouver des moyens de réduire le nombre d'échantillons analysés. Il n'est pas rare de constaten par exemple, qu'un technicien sur le terrain, autorisé à ne dépenser que $5.00 par jour de sa propre autorité, peut recueillir et soumettre à son laboratoire en une journée des échantillons dont l'analyse coûtera $1 500.00. Dans certains cas, la cueillette de données sur la chimie de l'eau peut friser l'obsession. (2) Indiquer la voie et fournir une expertise dans l'interprétation des données. Une petite fraction seulement des données recueillies présentement sur la qualité de l'eau sont analysées adéquatement, de façon à en extraire toute la signification. Il s'agit d'abord de mettre de l'ordre dans la maison fédérale et ensuite de convertir les provinces. Cela se fera par le truchement d'ateliers de travail, y compris la présence d'autorités mondiales comme orateurs. Il est à espérer que les professeurs d'universités contribueront à améliorer l'enseignement de l'interprétation des données dans ce secteur. Finalement, il faudra que le message atteigne les membres des organismes fédéraux et provinciaux. (3) Minimiser les coûts de la vaste quantité d'analyses chimiques de l'eau qui sont nécessaires, en améliorant les plans des laboratoires et en diminuant le nombre de laboratoires. Ce fut comme une bouffée d'air frais que de visiter des laboratoires fédéraux ou provinciaux utilisés en commun par deux organismes ou davantage. Ceci a pour effet de diminuer les contraintes territoriales et d'augmenter la coopération en conséquence. L'efficacité de plusieurs laboratoires de chimie de l'eau à travers le pays pourrait justifier en elle-même une étude. (4) Réduire l'effort consacré, dans tout le pays, à de nouvelles méthodes. Dans presque chaque laboratoire visité, on nous a dit que les méthodes existantes n'étaient pas bonnes et qu'il fallait consacrer beaucoup d'effort au développement de nouvelles méthodes. C'est à se demander s'il ne s'agit pas là d'un comportement de déplacement : une occasion de recherche et de publication dans un travail de routine par ailleurs ennuyeux. Si tel est le cas, on pourrait peut-être réorienter cet effort vers l'interprétation des données. (5) Faire davantage la relation entre les données sur la chimie de l'eau et les autres problèmes de l'environnement, par exemple, les organismes aquatiques et leurs exigences quant à la qualité de l'eau. Ce ne sera pas une tâche facile, car les chercheurs oeuvrant dans les domaines de la chimie et de la biologie ont une formation différente et travaillent dans des ministères différents. Leurs disciplines devront forcément se rapprocher, un peu comme l'eau et l'huile peuvent être unies sous pression, sans pour cela donner une mayonnaise.

Systèmes de préalerte

Nous avons été chargé spécifiquement par le comité d'enquêter sur la suffisance de systèmes de préalerte qui pourraient prévenir des crises comme celle du mercure. Il y a deux approches à ce genre de problèmes. L'une est de surveiller l'environnement et d'essayer de détecter des effets. L'autre est d'accorder des permis pour l'emploi de matériaux spécifiques. Environnement Canada utilise présentement l'une et l'autre de ces approches. Dans la première approche, des mesures doivent être faites sur la «bonne» substance au moment et à l'endroit appropriés, et il faut

quelqu'un pour interpréter les données recueillies. Dans la seconde approche, il faut connaître la toxicité de la substance avant d'en permettre l'usage, et ceci requiert une recherche préalable considérable. Ces deux approches sont évidemment limitées par l'effort énorme requis pour étudier et contrôler de façon suivie le million ou davantage de substances chimiques utilisées par l'homme.

Dans le cas du mercure, le polluant ne produisait aucun effet nocif évident chez les poissons qui l'accumulaient. Ces animaux ne manifestaient donc rien de fâcheux dans l'environnement en termes de survie, de croissance, de reproduction ou de comportement. Ils étaient donc tout à fait inutiles comme indicateurs. On peut s'attendre à ce que d'autres substances contaminantes de l'environnement se comportent de la même façon. Il faut donc s'y prendre d'une autre manière pour détecter de tels matériaux, soit par exemple identifier tous les matériaux hasardeux utilisés dans notre société, connaître leur toxicité, leur usage et la façon d'en disposer. Quand on songe qu'il y a plus de 5 000 substances chimiques dangereuses expédiées en quantités commerciales, c'est là une tâche monumentale. L'alternative est de surveiller quelques substances dans l'environnement ou dans les organismes susceptibles de les accumuler. Là où la santé humaine est en jeu, le contrôle est la responsabilté du ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. Dans le cas des autres êtres, il est la responsabilité d'une variété d'organismes, y compris le ministère de l'Agriculture, le Service canadien de la faune et la Direction de l'inspection du poisson d'Environnement Canada.

Indices de la qualité de l'eau

En faisant la revue de cette question, nous nous sommes rendu compte qu'il y avait au moins quatre organismes fédéraux s'occupant d'indices de ce genre.

Statistiques Canada est en voie de produire un ou plusieurs indices de qualité de l'environnement qui, un peu comme l'indice du coût de la vie, serviront à mesurer l'état relatif de l'environnement dans des endroits spécifiques, en particulier dans les grands centres urbains.

Le Service de la planification et des finances d'Environnement Canada a produit un indice composite de la qualité de l'environnement (Inhaber 1974) qui n'a d'ailleurs pas été utilisé.

Le Conseil économique du Canada consacre une bonne partie de son rapport annuel aux indicateurs sociaux. Un de ces indicateurs, décrit pour la première fois dans la 11e Revue annuelle, est la qualité de l'air dans les villes. Ceci est précédé d'un intéressant exposé des raisons pour se concentrer présentement sur la qualité de l'air plutôt que sur la qualité de l'eau : on peut souvent éviter la pollution de l'eau (e.g. baignade interdite), mais on ne peut éviter de respirer. Pour des millions de personnes au Québec, où les rivières et les lacs sont trop pollués pour permettre à une récréation aquatique, c'est un conseil sage mais peu réconfortant.

La Direction générale des eaux intérieures d'Environnement Canada s'est vu confier le mandat de produire des indices de la qualité de l'eau. La première étape est une approche statistique dont l'objectif limité sera d'indiquer si la qualité d'environ 10 cours d'eaux importants s'améliore ou se détériore.

Ceci est loin de comprendre tous les individus ou organismes impliqués dans la production d'indices de ce genre à l'intérieur ou à l'extérieur du gouvernement fédéral. Il serait approprié de : (1) réunir tous les chercheurs intéressés dans une atmosphère d'atelier de travail afin de leur permettre de connaître ce que chacun fait, et (2) faire une revue, à l'intérieur du gouvernement, de la responsabilité de coordonner ces efforts éparpillés et qui empiètent les uns sur les autres.

Les indices sont de deux types, descriptifs et prévisionnels, suivant l'usage qu'on en fait plutôt que suivant leurs propriétés inhérentes. Les indices peuvent également être simples, c'est-à-dire fondés sur une seule variable, ou complexes, quand plusieurs variables sont combinées, qu'elles soient pondérées individuellement ou non. Un exemple d'indice simple est la mesure des bactéries coliformes comme indicateurs de contamination fécale. Un indice un peu plus complexe est l'indice morphoédaphique de Ryder, qui combine l'effet positif des solides dissous avec l'effet négatif de la profondeur moyenne d'un lac, pour donner un indice de la production en poisson (Ryder et al. 1974).

Plus l'indice est simple, plus il est opérationnel; plus il est complexe, plus il est une abstraction qui ne peut s'appliquer au monde réel. Ceci provient en partie de la difficulté des combiner des composantes incompatibles en un indice complexe. *Escherichia coli* permet de déterminer si une eau peut être utilisée par l'homme, un faible compte étant bon et un compte élevé mauvais pour l'homme, mais de peu d'importance pour les poissons. L'augmentation des solides dissous (jusqu'à un certain point) peut être bonne pour les poissons et mauvaise pour l'homme. Des eaux intermédiaires sous le rapport de ces deux variables peuvent être acceptables et à l'homme et aux poissons. L'indice combiné linéairement peut cependant être une valeur indiquant qu'au total, l'eau est tout simplement inacceptable. C'est une situation parallèle à l'indice du coût de la vie. Il importe peu au consommateur de savoir que l'indice est demeuré constant s'il ne sait pas que pour y arriver, il a fallu substituer la volaille au boeuf dans le panier d'épicerie quand le prix du boeuf a monté.

Nous nous sommes attardé sur ce point afin de démontrer qu'il est très difficile de produire un indice de la qualité de l'eau d'application étendue. Un indice

simple ou à peu de variables peut avoir une grande valeur prévisionnelle dans un plan d'eau ou un bassin hydrographique particulier. Il est très difficile de concevoir un indice ou des indices applicables aux eaux canadiennes en général et conservant une valeur prévisionnelle quelconque. Bref, qui utilisera un tel indice et à quelles fins?

Atlas de la qualité de l'eau

Comme pour toute carte, la première question est de se demander qui seront les usagers éventuels d'un atlas de la qualité de l'eau? La deuxième question, quel est le volume d'information dont l'usager aura besoin? La troisième question, combien coûtera ce service par rapport à sa valeur pour l'usager? Enfin, quelle est la durée de vie de l'information contenue dans la carte?

Aux deux extrêmes, on a le choix de représenter le pays entier sur une seule petite feuille de papier, ou de produire une grande quantité de cartes détaillées de la série topographique (17 000 cartes pour couvrir le Canada à l'échelle de 1:50 000, 918 cartes à l'échelle de 1:250 000). L'Atlas des eaux des États-Unis est un exemple du premier type; il montre la pollution dans les principaux bassins hydrographiques, la composition chimique par régions physiographiques, etc. Un atlas de ce type est utile en éducation et dans des domaines étendus d'élaboration des politiques. Il est toutefois d'usage limité lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes à l'intérieur des bassins hydrographiques, c'est-à-dire, il n'y a pas suffisamment de détails. Une telle présentation simpliste ou supeficielle peut induire en erreur. La rivière Maitland (sud-ouest de l'Ontario) est raisonnablement bonne quant à la qualité, mais en été le débit peut tomber à zéro.

La préparation de cartes demande beaucoup de temps. Il faut de 5 à 7 ans pour produire et vérifier une carte topographique préparée à partir de photographies aériennes. Les caractères géographiques ont tendance à demeurer les mêmes durant de longues périodes, et une carte topographique préparée il y a 10 ou 20 ans peut encore être un document utile. La qualité de l'eau, par ailleurs, change rapidement en termes d'industrialisation accrue, de normes et de règlements plus stricts, de technologie améliorée pour le maintien de la qualité de l'eau, etc. Il est clair qu'un atlas de la qualité de l'eau préparé il y a 20 ans, ou même 10 ans aurait aujourd'hui une valeur limitée.

On pourrait résoudre ces problèmes d'échelle et de chronologie en ayant deux publications différentes. La première serait une série de cartes de la qualité de l'eau incorporées à l'Atlas du Canada. Ce dernier a déjà 24 pages consacrées à l'eau, et la qualité de l'eau comme sujet pourrait entrer dans cette section. Cette publication a plusieurs avantages : un personnel expérimenté travaille à sa production de façon continue; on publie à tous les 5 ans une version révisée réquérant 30 hommes-années (la prochaine édition doit paraître en 1979); le ministère des Approvisionnements et Services du Canada vend à bas prix des cartes séparées. Finalement, l'Atlas est largement disséminé dans les bibliothèques, surtout scolaires, publiques et gouvernementales, et c'est là que se trouvent le plus grand nombre d'usagers.

En plus de feuilles individuelles couvrant tout le Canada, il faudra probablement porter la qualité de l'eau sur des cartes à différentes échelles selon la nature du problème. Par exemple, les organismes des gouvernements provinciaux enregistrent souvent les données sur la qualité de l'eau ou autres données semblables sur les cartes de la Division de l'hydrologie appliquée où sont indiquées les stations de contrôle continu. Le système qui s'y rattache pour la définition de ces stations au Canada a été adopté par la Direction de la qualité de l'eau (DGEI, Environnement Canada) et par plusieurs organismes provinciaux. Ces cartes sont à une échelle qui convient mieux aux besoins du planificateur régional. En outre, les cartes topographiques du pays ont des échelles de 1:50 000 et de 1:250 000. Dans les deux cas, la carte finale est le résultat de six impressions ou davantage. Il ne serait pas tellement difficile de modifier ou de préparer une plaque supplémentaire pour incorporer sur la carte les données sur la qualité de l'eau. On préparerait de telles cartes seulement quand le problème justifie un traitement à cette échelle. On peut s'imaginer la valeur de telles cartes dans les régions où l'impact de l'homme est la plus grande: la vallée du fleuve Fraser, la ceinture Edmonton–Calgary, l'Ontario méridionale, la vallée du Saint-Laurent, la vallée de la rivière Saint-Jean, etc.

Enfin, grâce à une impression automatisée dirigée par ordinateur, on pourra produire en peu de temps des cartes acceptables. L'information qu'elles contiendront pourra être limitée par la capacité de l'équipement. D'autant plus qu'il faut beaucoup de temps pour préparer les données pour l'ordinateur. Actuellement, cette technologie est sous-utilisée dans la cartographie de la qualité de l'eau.

Contraintes

Moralité corporative

Une contrainte à la solution des problèmes de l'environnement est le désir des industries de garder secrète l'information vitale à toute compréhension des problèmes. Un exemple est l'usine de la Domtar dans le nord-ouest du Québec. On estime à 16 000 livres la quantité de mercure qui s'est échappée de l'usine (Presse canadienne, 16 oct. 1975). Seule la Domtar connaît la quantité de mercure qu'il a fallu acheter pour remplacer ces pertes, elle n'a pas divulgué cette information, n'a aucune obligation légale de le faire

et ne reconnaît aucune obligation morale de le faire. On a suggéré que les 8 tonnes de mercure peuvent s'être «évaporées» (Ottawa Citizen, 16 oct. 1975). Il est difficile de s'imaginer comment cela aurait pu se produire sans compromettre la santé des ouvriers de l'usine, ou pourquoi cette société aurait laissé s'évaporer une quantité du mercure d'une valeur d'un tiers de million de dollars. On a également suggéré que le mercure présent dans les poissons de la réion, étant du mercure organique, ne pouvait provenir du mercure inorganique sorti de l'usine. On sait depuis 1969 que des microrganismes convertissent le mercure inorganique en mercure organique. Pour comprendre le problème, il est essential de connaître la qualité de mercure qui s'est échappée dans l'environnement, surtout lorsqu'il s'agit de préparer un bilan de mercure pour le bassin et un modèle prévisionnel de rétablissement.

Un autre exemple est la chiminée de Copper Cliff, qui déverse dans l'atmosphère de grandes quantités de métaux qui retombent sur la terre et l'eau avoisinantes. La Société (INCO), de même que les gouvernements fédéral et provincial ont tous déterminé la composition des effluents de la cheminée. Toutes ces analyses sont entourées du plus grand secret. Les meilleures données disponibles se rapportent à 1971 : 14 500 tonnes de fer, 2 000 tonnes de nickel, 1 800 tonnes de cuivre, 155 tonnes de zinc, 12 tonnes de cadmium, 240 tonnes de plomb, 110 tonnes d'arsénic et 17 tonnes de sélénium (Steel Labour, oct. 1973). Ici encore, les écologistes ont besoin de connaître la nature et la quantité du matériel ainsi émis afin de construire un modèle de la réponse de l'écosystème à cette charge de matéraux toxiques. La compréhension de la dégradation de l'environnement a pour objectif d'en préduire les implications pour la santé et la survie de l'homme et des autres organismes. Dans l'échelle des valeurs qui prévaut à l'heure actuelle, on considère cela comme moins important que la réticence.

Réticence

À Environnement Canada, les données sur l'environnement sont entourées d'une réticence excessive et non nécessaire. Ceci est, à notre avis, une contrainte majeure à la compréhension des effets des substances contaminantes sur l'environnement aquatique. Dans le cadre du mandat de la présente étude, il est donc difficile d'établir la suffisance à la fois de l'analyse et de l'interprétation. La Direction de l'inspection du poisson, par exemple, maintient d'importants laboratoires à travers le pays qui font des analyses de poissons et de coquillages d'eau douce et de mer débarqués par les pêcheurs canadiens, et celles de produits semblable importés au Canada. Les résultats de plusieurs de ces analyses sont gardés en secret, et même les autres chercheurs au sein de ce service n'y ont pas accès. Il est donc impossible de savoir, sauf pour la Direction de l'inspection du poisson, si les analyses et leur interprétation atteignent leurs objectifs. La meilleure façon de s'en assurer serait de rendre publics les rapports fondés sur ces analyses. Ceci serait au moins un bon stimulant au maintien de la haute qualité du travail.

Soit dit entre parenthèses, le présent système de tenir secrets les résultats des données sur l'inspection du poisson est un gaspillage considérable des ressources fédérales. Plusieurs autres organismes ont besoin d'une information identique dans la poursuite légitime de leur propre mandat. Comme résultat, il peut y avoir côte-à-côte deux laboratoires produisant les mêmes données, du moins en partie. Souvent, les autres organismes seront obligés d'avoir recours à des mesures moins satisfaisantes de polluants de l'environnement. C'est ainsi, par exemple, que la Commission mixte internationale, quand on lui refusa des données sur les substances contaminantes présentes dans les poissons des Grands lacs, fut obligée d'entreprendre une étude alternative coûteuse et pas entièrement satisfaisante des substances contaminantes dans les oiseaux et mammifères ichtyophages.

Finalement et plus pertinemment, tout genre d'autoritarisme diminue les chances de succès dans la solution des problèmes. Popper (1966) affirme que le meilleur moyen pour une société de résoudre ses problèmes est de le faire ouvertement. Spécifiquement, en permettant la libre production de solutions diverses, leur critique par le public et enfin un choix et une modification fondés sur cette critique. Si tel est le cas, et l'argument de Popper n'a jamais été réfuté, l'analyse ou l'interprétation autoritaire et / ou réticente des données sur l'environnement sont moins efficaces que quand elles se font ouvertement.

L'auteur du présent rapport se voit dans l'impossibilité de renseigner le comité sur la suffisance totale du système de préalerte.

À la lumière de ce qui précède, on devrait réexaminer la présente politique de réticence.

Rôle des universités

La contribution du secteur universitaire dans le domaine de la recherche sur la qualité de l'environnement aquatique est relativement faible. Il existe peu de centres où elle est concentrée, et ceux-ci sont plus apparents que réels. Il y a quand même quelques exceptions.

Une station sur le terrain comprend comme personnel 2 professeurs, 10 étudiants diplômés de l'Université du Manitoba, 6 professeurs et étudiants diplômés de l'Observatoire Lamont de l'Université Columbia et 6 techniciens. L'équipement varie de bon à excellent, et l'appui financier à son opération est adéquat. La série de séminaires est la plus intensive du

pays. Les travaux des étudiants diplômés jouissent d'une direction exceptionnelle, et le choix des projets de recherches est excellent. Toutes les études sont au premier plan de la connaissance humaine. Nous hésitons à reconnaître la Station de la région des lacs expérimentaux (RLE), de crainte qu'elle ne soit jugée contraire à l'Acte de l'A.N.B. et qu'on ne perde notre meilleure station de recherches pour travaux postgradués en limnologie. La leçon est quand même évidente : les universités n'ont pas les ressources financières et ne possèdent que peu de personnel de l'habileté et de l'énergie de M. D. W. Schindler pour organiser une recherche de premier ordre sur l'eau.

Un autre secteur académique où il y a concentration est l'INRS-Eau à l'Université du Québec. Environ 80 personnes y travaillent dans les installations du Complexe scientifique. Un quart du budget d'opération de l'organisation provient de l'université, et la balance de contrats accordés par divers gouvernements et par l'industrie. L'organisation offre un programme multidisciplinaire de 2 ans pour diplômés dans le domaine de l'eau, le seul du genre au pays.

Il n'est pas du ressort de ce rapport de définir le rôle du secteur universitaire. On reconnaît cependant qu'il y a divergence d'opinions sur le degré et la façon dont les universités peuvent contribuer à l'étude de la qualité de l'environnement. On conçoit le rôle des universités comme se limitant à l'enseignement (Meyboom 1972) ou comme offrant un véhicule unique pour la solution de problèmes interdisciplinaires (H. F. Fletcher, communication personnelle). En général, les universitaires trouvent très difficile de séparer les deux activités, l'enseignement au niveau postgradué et la recherche, mais la source de financement de ces activités est avant tout provinciale et fédérale respectivement. En outre, le contact entre les universités et le gouvernement est mal organisé. Au cours de cette étude, la plainte que nous avons entendue le plus souvent de la part des universitaires est qu'ils ne savent jamais avec qui entrer en contact ou traiter au gouvernement en ce qui a trait à la recherche sur l'environnement.

On peut dire que la plus grande partie des recherches sur l'eau effectuées dans les universités est une science artisanale. Elle est caractérisée par des travaux isolés et sans rapport entre eux. Par exemple, un chercheur étudiera le benthos d'un cours d'eau, un autre la matière organique d'un second cours d'eau, un troisième les substances inorganiques d'encore une autre cours d'eau, et enfin un autre chercheur étudiera les poissons d'une rivière avoisinante. Chaque chercheur a ses raisons de faire son boulot là où il l'entend, mais, prises collectivement, ces pièces isolées contribuent beaucoup moins à la compréhension que si tout l'effort avait été dirigé sur une région unique, soit une nappe d'eau soit un bassin hydrographique. Ceci ne veut pas dire que toute la recherche universitaire doive faire partie d'un plan d'ensemble quelconque. Au contraire, l'université est l'endroit logique pour la poursuite de bien des recherches innovatrices.

Les chercheurs universitaires recevraient peut-être plus d'aide financière si leur travail comportait une innovation plutôt qu'un contrôle continu. Une bonne proportion de la recherche effectuée dans les universités prend la forme de cueillette de données fondamentales. Dans certains cas, on compte sur de fortes sommes d'argent pour surveiller des environnements dans lesquels il en coûte beaucoup pour travailler et où les mesures sont dispendieuses. C'est ainsi par exemple que l'Institut des Grands lacs a lutté pendant plusieurs années pour maintenir un navire de surveillance dans les Grands lacs inférieurs. (Un Institut de lacs de moindre importance aurait été plus approprié au mandat d'enseignement de l'Université de Toronto.) Il en est de même du Centre de Kananaskis qui doit faire un grand nombre d'analyses chimiques, organiques et inorganiques, régulières sur la qualité de l'eau.

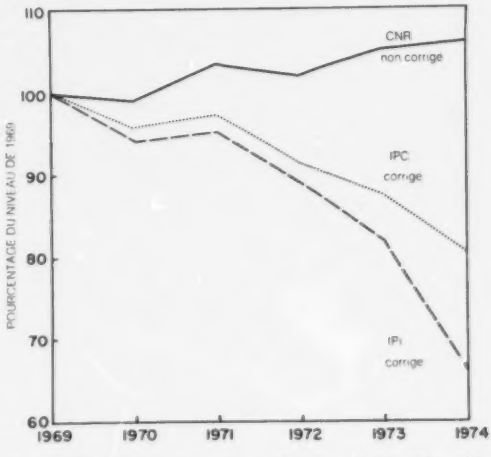


FIG. 3. Conseil national de recherches du Canada, aide financière aux universités pour la recherche scientifique, exprimée en pourcentage du niveau de 1969 et corrigée pour tenir compte de l'inflation en utilisant l'Indice des prix à la consommation et l'Indice des prix implicites (IPC et IPI gracieuseté de Statistiques Canada).

Comme corollaire de cette obsession pour la technologie et la mécanique de cueillette de données fondamentales dans les programmes universitaires, on n'accorde que peu d'attention à l'analyse et à l'interprétation des données dans le processus éducationnel. Ceci explique en partie la faiblesse de l'interprétation des données dans plusieurs aspects de la recherche portant sur l'eau au sein des gouvernements fédéral et provinciaux. Les diplômés universitaires à l'emploi du gouvernement sont obligés de

travailler la plupart du temps sur une information existante. Il devrait y avoir davantage dans leur formation universitaire qui les aiderait à remplir ce rôle.

La faiblesse de l'analyse et de l'interprétation de l'information a également un autre genre de racine. Très peu de Canadiens ont été des pionniers dans ce domaine. Ils sont rares les professeurs d'université qui ont inventé une nouvelle approche et formé un groupe de disciples pour transmettre le message. Il y a ici contraste avec les autres pays, même de petits pays, qui ont produit de tels individus. L'approche développée par Lance et Williams (Australie) pour l'analyse de communautés biologiques complexes en est un bon exemple. La littérature abonde en noms de personnes et d'endroits : indice de Jaccards, métrique de Canberra, fonction de Shannon-Weiner, métrique de Manhattan, etc., tous hors du Canada.

Il serait désirable de faire la revue des six octrois de 5 ans aux universités afin d'évaluer le succès de l'expérience. Dans le cas où de fortes sommes fédérales n'ont pas produit de programme viable, il est essentiel qu'on identifie les causes de l'échec. Inversement, dans les centres où il y a de la vie, on devrait expliquer les succès. Cette information, compilée dans un rapport, servirait de guide à la fois aux universités et au gouvernement, dans les cas futurs où l'on recommande une semblable approche en équipe.

Financement de la recherche universitaire

Il n'est pas très surprenant que les universités soient incapables de mettre sur pied des programmes efficaces sur la qualité de l'environnement aquatique. Le financement de la recherche universitaire est avant tout la responsabilité du Conseil national de recherches du Canada (CNR), et les fonds octroyés en aide à la recherche sont gelés depuis la seconde moitié des années 1960. Depuis ce temps, il y eut forte érosion causée par l'inflation, la valeur des montants accordés à la recherche durant la période 1969 74 ayant diminué de plus d'un tiers (fig. 3). Cette politique n'a pas été poursuivie dans les autres pays industrialisés (fig. 4).

Pendant près d'une décennie, la recherche universitaire en sciences naturelles au Canada a manqué de fonds. Ceci est encore plus évident, si l'on compare les montants accordés aux universités avec ceux consacrés à la recherche interne du fédéral en science (fig. 5).

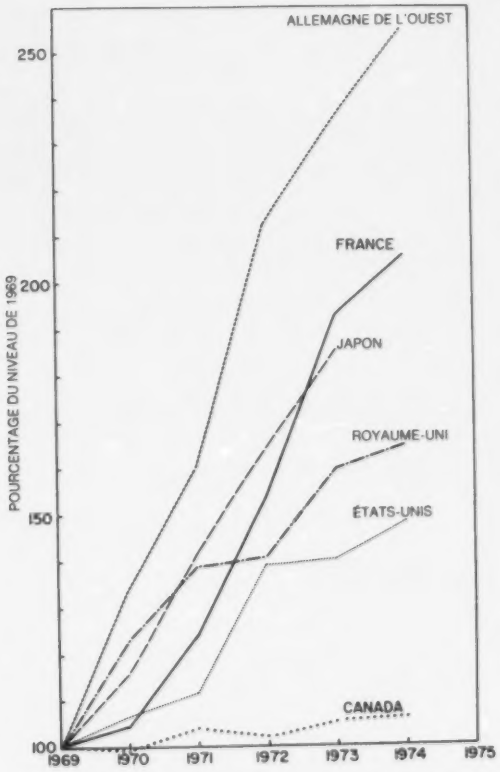


FIG. 4. Aide à la recherche scientifique dans les universités, six pays industrialisés, 1969–74, exprimée en pourcentage d'augmentation depuis 1969.

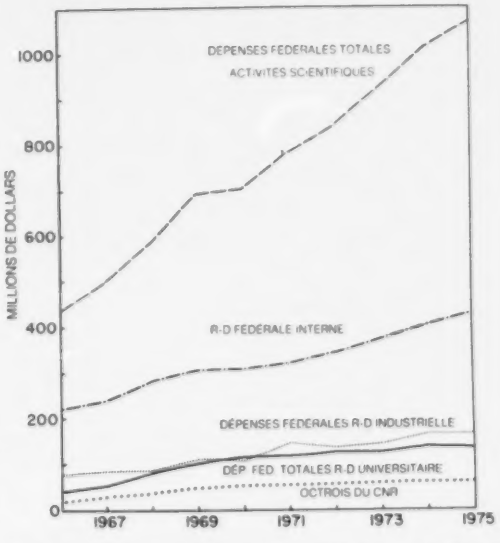


FIG. 5. Comparison des dépenses fédérales en R-D par secteur de performance (Statistiques Canada, N° de cat. 13-202).

TABLEAU 1. Montants consacrés aux activités scientifiques par Environnement Canada, 1974–75. (Source : Statistiques Canada)

Service	Dépenses totales	Secteur universitaire	Pourcentage universités
Environnement atmosphérique	69 842 000	615 000	0.88
Gestion de l'environnement	79 805 000	2 623 000	3.28
Protection de l'environnement	4 190 000	37 000	0.88
Pêches	25 248 000	420 000	1.66
Sciences de la mer	52 268 000	205 000	0.39
Total	231 353 000	3 900 000	1.68

Dans le programme d'octrois du CNR, on a consacré relativement peu du $71 millions (1973–74) à la recherche sur la qualité de l'environnement aquatique. Si l'on fait la revue des titres énumérés dans le Rapport annuel de 1973–74 sur les bourses et octrois de recherches, on trouve 18 projets d'un total de $118 155 (annexe 1) ou $\frac{1}{3}$ de 1% pouvant être considérés comme entrant dans cette catégorie. Dix-sept autres octrois ont été accordés pour des études touchant en partie la qualité de l'environnement aquatique. Quelles qu'en soient les raisons, les octrois du CNR ne sont pas une source majeure de financement de recherches de cette nature au Canada. On a cependant accordé quelques octrois importants au développement (annexe 2).

Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (ÉMR) a accordé des fonds pour la recherche sur l'eau en 1968–69. Cette responsabilité a été transférée à la Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, et le financement s'est pour suivant les termes d'ententes de 5 ans. Les montants fédéraux, atteignant un maximum d'environ $865 000 annuellement, ont permis la formation ou l'appui continu de centres à six institutions : Westwater à l'Université de la Colombie-Britannique, Division de l'hydrologie à l'Université de la Saskatchewan, Centre Agassiz à l'Université du Manitoba, Traitement des eaux usées à l'Université McMaster, Institut d'études sur l'environnement de l'Université de Toronto et CENTREAU à l'Université Laval. Depuis la fin des octrois de 5 ans, la plupart de ces centres ne reçoivent qu'une aide limitée, et la moitié des six cesseront peut-être de fonctionner.

La relation entre le gouvernement fédéral et les universités est à la base et est largement responsable du genre de problèmes décrits plus haut. Suivant l'Acte de l'Amérique du Nord Britannique, l'éducation, y compris l'éducation universitaire, est la responsabilité des provinces. Les provinces ont consenti, bien qu'à contre-coeur, à ce que la recherche au niveau tertiaire d'éducation soit financée par le fédéral. Il n'y a cependant aucun organisme fédéral chargé de cette responsabilité. Comme résultat, chaque ministère gouvernemental ou chaque unité à l'intérieur d'un ministère établit son propre système d'octrois. Les objectifs, les approches et les montants varient grandement d'un organisme subventionnaire à l'autre. Ceci est évident au tableau 1 où sont indiqués les montants et le pourcentage des dépenses consacrés au secteur universitaire par service au sein d'Environnement Canada.

Des montants totaux consacrés à la recherche et au développement par l'intermédiaire des universités, 67.3% proviennent du Service de la gestion de l'environnement, en grande partie de la Direction générale des eaux intérieures. Le Service des pêches et des sciences de la mer, avec un mandat beaucoup plus large (eutrophisation, biologie marine et d'eau douce, pêches maritimes et d'eau douce), n'est responsable que de 16% seulement de la recherche financée par Environnement Canada dans les universités.

Égouts municipaux

Dans biens des régions du Canada, les égouts domestiques sont la cause principale de la détérioration de la qualité de l'environnement aquatique. Cette détérioration affecte l'homme et les organismes directement et l'utilisation de plantes et d'animaux pour consommation humaine indirectement.

Le problème du rejet des déchets humains n'est pas nouveau. Il s'est aggravé avec l'invention du cabinet à chasse d'eau par William Crapper, ce qui eut pour effet de confier à l'eau le rejet des déchets humains. Le traitement moderne des égouts a été conçu par Edmund Chadwick en 1843, qui utilisa les concepts de sédimentation en lagune et l'oxydation de matériel de forte demande en oxygène. Depuis ce

temps, la recherche sur le rejet des déchets a été remarquablement modeste.

Il est encore plus remarquable de constater que 130 ans après que Chadwick démontra la valeur du traitement des égouts, plusieurs centres de population au Canada, un pays qui jouit d'un des plus hauts revenus per capita au monde, rejette encore des égouts non traités dans les eaux souterraines et superficielles, et dans les estuaires et la mer. Ceci comporte des risques pour la santé, une diminution de la qualité de l'environnement et d'importantes pertes économiques, qui sont souvent ignorés.

Traitement et non-traitement

En général, le rejet d'égouts domestiques et industriels est plus commun et plus raffiné à l'intérieur du pays que dans les régions côtières ou subcôtières. En Alberta, toutes les communautés desservies par des systèmes d'égouts ont un traitement équivalent au niveau secondaire. En Saskatchewan, toutes les communautés possèdent un traitement primaire et plus de 90% sont dotées d'un traitement en lagune avec décharge semi-annuelle, c'est-à-dire, l'équivalent d'un traitement secondaire. Des communautés telles que Régina et Saskatoon utilisent la chloration, de même que d'autres communautés en aval, surtout North Battleford, où l'effluent des égouts est situé en amont de la prise d'eau domestique. Au Manitoba, 85% des communautés de plus de 200 habitants possèdent un système d'égouts et de traitement de l'effluent. Dans quelques municipalités, les systèmes sont inadéquats, mais on est en train de remédier à la plupart des déficiences.

Ce haut niveau de traitement dans les provinces des Prairies offre un contraste frappant avec la province de Québec. À peine 11% des égouts domestiques ne reçoivent pas plus qu'un traitement primaire (Association québécoise des Techniques de l'Eau 1975). Pratiquement toutes les rivières se déversant dans le fleuve Saint-Laurent entre Valleyfield et Québec sont contaminées par les égouts. La baignade est interdite sur toutes les plages du Saint-Laurent dans le voisinage de Montréal. Il y a quelques décennies, les eaux et les rives du Saint-Laurent constituaient une grande ressource récréative, facilement accessible à un grande nombre de personnes, à coût modeste. Maintenant, le Saint-Laurent se classe avec le Mississippi et le Rhin parmi les fleuves les plus pollués du monde (Ottawa Journal, 22 août 1975). De même, plusieurs rivières et cours d'eau de la vallée du Saint-Laurent se prêtaient bien à une récréation aquatique. À l'heure actuelle, des rivières telle la Yamaska contiennent 3-4 ppm de phosphate disponible provenant d'effluents agricoles et domestiques, avec, comme on peut s'y attendre, prolifération d'algues.

Devant une telle pollution universelle de l'eau douce, les résidents de la vallé du Saint-Laurent ont adopté l'attitude que leur communauté seule n'y pouvait rien et qu'il était inutile de tenter d'améliorer la situation locale si la pollution continue en amont. Ce raisonnement a été récemment détruit par l'accord fédéral-provincial-municipal sur le financement de la collection et du traitement primaire (avec chloration) des égouts de Montréal. Ceci est évidemment un important premier pas, mais on ne peut considérer ni le traitement primaire ni la chloration comme étant une solution très satisfaisante du problème. Les déversements accidentels de substances chimiques qui se produisent parfois nous font réaliser quelques-uns des points faibles des approvisionnements en eau douce domestique. En août 1975, 68.1 kg d'un produit qui chasse les insectes, le néopentyl glycol, a été déversé dans les égouts de Sainte-Thérèse où il atteignit une concentration de 8.0 ppm. La prise d'eau, située à 90 m de distance, capta suffisamment de ce matériel pour donner à l'eau potable de la communauté une concentration de 1.6 ppm.

En général, la pollution par les égouts s'étend aux lacs des cantons de l'Est, et aux lacs accessibles de la rive nord aussi à l'est que la ville de Québec. Ici encore, ceci a entraîné une perte sérieuse de récréation aquatique, les hauts niveaux de *E. coli* empêchant d'utiliser les lacs pour le sport dans l'eau, pour l'approvisionnement en eau potable, etc. On s'efforce présentement d'améliorer la qualité de certains plans d'eau. Dans le cas du lac Memphrémagog, un moulin sur le côté américain est en train d'installer un système de traitement tertiaire, et les communautés sur le côté canadien mettront en place des systèmes de traitement d'égouts.

Dans les provinces côtières de l'Atlantique, plusieurs grandes communautés, en particulier Halifax-Dartmouth, Moncton et St-Jean ne possèdent aucune sorte de traitement. De plus, un grand nombre de petites communautés rejettent des égouts non traités directement dans les eaux de marée. Au moment de la rédaction de ce rapport, trois communautés, y compris Edmundston sur la rivière Saint-Jean, sont dépourvues de traitement. Certaines communautés riveraines sont la Némésis du génie sanitaire : maisons échelonnées le long de la rive, trop éloignées les unes des autres pour une collection économique des égouts et trop rapprochées pour l'utilisation sans danger de fosses septiques.

Égouts et fruits de mer

Il est facile de calculer les coûts de traitement des égouts. Par contre, les coûts du non-traitement sont souvent beaucoup moins tangibles. Par exemple, comment attribuer une valeur en dollars à la perte de récréation? A la perte du plaisir esthétique? La

contamination des organismes comestibles est une situation où l'on peut mesurer la perte économique causée par la pollution. Le Canada et les É.-U. ont établi en commun des normes de niveaux acceptables de *E. coli* dans les coquillages, simplifiant ainsi la réglementation touchant la récolte et l'exportation-importation. Ces normes peuvent être dépassées dans des coquillages exposés à des égouts bruts, et de telles régions sont interdites à la récolte commerciale. Dans les provinces de l'Atlantique, les 211 régions fermées couvrent l'incroyable superficie de 1 800 km². Ce qui veut dire que les ressources comestibles de ces zones sont perdues pour le pêcheur commercial. En pratique, certains coquillages sont déplacés physiquement de régions polluées à des régions non polluées et maintenus dans une eau plus propre jusqu'à ce que le compte de *E. coli* baisse à un niveau acceptable. (On suppose que les bactéries et les virus pathogènes sont éliminés des coquillages à peu près au même rythme.) Á la fin de cette période, environ 6 semaines, on peut récolter les coquillages. Le taux de filtration des huîtres varie en fonction de la température, et les temps de «clairance» sont beaucoup plus longs à de basses températures. Ce transfert de coquillages pollués est dispendieux en ceci qu'il exige beaucoup de main-d'oeuvre, et la pratique n'est pas très répandue. La plupart des régions closes demeurent une perte économique complète.

Les régions closes sur la côte du Pacifique ne sont pas aussi nombreuses ni aussi étuendues. Elles comprennent Nanaïmo, Ladysmith, Crofton, la baie de Cowichan, Ganges Harbour, la baie de Schwartz, etc. Ici aussi, il est regrettable que ces régions de coques et d'huîtres soient perdues pour la récréation ou la récolte commerciale.

La gestion des coquillages, c'est-à-dire des huîtres, des coques, des moules et des palourdes (mais excluant le homard et les pétoncles) est sans doute plus saine que ne le laisse entendre cette section. Il n'y a pas eu d'incidents sérieux d'empoisonnement par les coquillages depuis 1972. Cette année-là, quelque 450 personnes ont été malades après avoir mangé des huîtres de Caraquet (N.-B.). Ceci coïncida avec le débordement dans l'environnement marin d'une lagune de déchets provenant d'une porcherie de 1 000 porcs. Á cause du décalage entre la pollution et les rapports de maladie, on n'a pu établir avec certitude une raltion de cause à effet.

Il y a un besoin évident de recherches sur les coquillages et la pollution par les égouts. Un problème est la détermination du sort, non seulement de *E. coli,* mais d'organismes pathogènes pour l'homme, virus aussi bien que bactéries, dans les huîtres. Ces organismes sont-ils entreposés dans l'huître? Avec quelle efficacité sont-ils éliminés dans une eau propre? Un autre problème très important à résoudre est le niveau de traitement à donner aux égouts pour atteindre un bas niveau de *E. coli* dans l'huître. Le traitement secondaire qu'on est en train d'installer un peu partout dans les provinces de l'Atlantique est-il suffisant?

Il ne sera pas facile de changer l'habitude de manger des huîtres crues. Ceci nécessite une vigilance spéciale dans le contrôle continu et un solide fondement de recherches pour la gestion.

La relation entre une eau polluée par les égouts et la comestibilité des poissons est moins claire. Ceci est dû à plusieurs facteurs : la plupart des poissons ne sont pas des filtreurs au même sens que les coquillages. Les poissons sont beaucoup plus mobiles, donc il est plus difficile d'établir une relation de cause à effet. Contrairement aux huîtres, les poissons sont presque toujours cuits, la cuisson causant la mort des organismes contaminants. Enfin, ce qui est peut-être fortuit, certaines espèces de poissons, les saumons du Pacifique par exemple, qui viennent en contact prolongé avec des eaux polluées telles celles du fleuve Fraser, sont les poissons qui sont presque toujours mis en conserve. Ceci implique la cuisson sous pression à haute température et la destruction des organismes contaminants.

Un autre problème se rapportant à la pollution de l'eau de mer par les égouts est l'usage subséquent de l'eau de mer dans la transformation des aliments. Les usines de transformation du poisson par exemple, sont éparpillées le long de la côte des provinces de l'Atlantique. Ces usines, naturellement, sont en général associées à des communautés, la communauté utilisant l'eau de mer pour le rejet des égouts, et l'usine utilisant l'eau de mer comme eau de lavage. Cet usage est soumis à un contrôle continu en vue de détecter *E. coli*, et il peut être nécessaire de traiter au préalable l'eau de mer.

La chloration des égouts détruit un fort pourcentage de *E. coli* et, on l'espère, un pourcentage également élevé de bactéries et de virus nuisibles à la santé humaine. Ce procédé, naturellement, ne diminue pas le contenu de l'effluent en éléments nutritifs, comme le fait le traitement. Des villes comme Montréal et Vancouver, qui déversent leurs égouts en eau douce, ont opté pour la chloration. Les gens impliqués dans les pêches se sont traditionnellement objectés à la chloration à cause de la haute toxicité, pour les poissons, du chlore libre et des composés qui en résultent, tels que les chloramines (Servizi et Martens 1974). La méthode admise de déchloration des égouts en vue de les rendre non toxiques coûte environ quatre fois plus que la chloration elle-même, et son coût est donc prohibitif. La Commission internationale de la pêche du saumon dans le Pacifique a fait des recherches dans le but de découvrir un procédé de déchloration peu dispendieux, et a eu un certain succès. On doit noter ici que l'organisme qui essaie de maintenir la qualité de

l'environnement est obligé de se charger de la recherche; non seulement la recherche essentielle à la protection de la ressource (i.e. études de toxicité), mais aussi la recherche sur des méthodes de traitement des égouts moins dommageables aux organismes aquatiques.

On a récemment exprimé de l'inquiétude au sujet du chlore et des composés organiques résultant de la chloration de l'eau comme étant des substances cancérigènes pour l'homme. Au moment où nous rédigeons ce rapport, il est trop tôt même pour faire allusion à la façon dont ceci peut influencer l'opinion sur la chloration des égouts. On peut s'attendre à ce qu'il se fasse beaucoup de recherche dans ce domaine, une bonne partie en dehors du Canada.

Rejet sur terre

À mesure que le traitement des égouts municipaux se généralise, le problème du rejet des boues devient plus aigu. Étant donné que ces substances nutritives ont leur origine sur terre, l'idéal serait de retourner ce matériel à la surface du sol. Ceci est souvent impraticable, simplement à cause des coûts de distrubition. En plus de cela, il y a des problèmes très pratiques. On ne connaît pas le rôle des bactéries et des virus dans les boues, par exemple, utilisées comme engrais de récoltes servant à la consommation humaine directe. Ces organismes réussissent-ils à pénétrer dans les plantes-racines, par exemple? Il est ironique de constater que ce domaine particulier de recherches en Alberta a dû être abondonné quand le fédéral a cessé de le financer.

Un autre problème touchant l'utilisation des boues d'égouts est la haute teneur en métaux lourds du matériel et l'assimilation subséquente de ces métaux par les plantes. Cette haute concentration de métaux est causée avant tout par les industries qui rejettent dans les égouts municipaux les eaux usées de l'usine. La matière organique sert en partie de trappe à ces métaux. Les organismes provinciaux et municipaux s'intéressent au niveau de métaux dans l'effluent à la sortie de l'usine de traitement des égouts, par opposition à l'attitude fédérale qui est de contenir les déchets à l'intérieur de l'usine individuelle. En général, c'est l'attitude provinciale qui prévaut.

Des approches nouvelles sont apparues, surtout en Alberta méridionale. Une irrigation par arrosage de matériel de lagunes d'égouts a été tentée et s'est avérée rentable. On a cultivé seulement des plantes fourragères dans un sol ainsi traité, et il n'y eut pas accumulation de métaux lourds dans les animaux ou dans les produits laitiers.

La gamme des besoins en recherche dans ce domaine est étendue. Il est certain que l'application aux sols de tout déchet municipal aide à protéger l'environnement aquatique. Il faut comprendre le lessivage de ce matériel (Great Lakes Water Quality Board 1973) avant d'établir une réglementation concernant le rejet de «déchets» de cette nature. Il faut également comprendre les sources, l'assimilation et le sort des organismes pathogènes et des métaux lourds. Finalement, on sait que les usines de traitement d'égouts municipaux déchargent des quantités appréciables de métaux lourds dans les eaux qui les reçoivent. La gravité de ce problème reste encore à déterminer.

Agriculture

L'agriculture a la réputation d'être le plus grand accapareur d'eau (Carr 1966). Ses besoins directs en eau sont considérables pour l'irrigation, l'abreuvage du bétail, etc. Ils peuvent également être élevés pour le rejet des déchets, comme dans le cas du ruissellement des pâturages. Certaines pratiques agricoles, surtout la culture de la pomme de terre, peuvent causer le transfert de vastes quantités de sol des champs dans les cours d'eau. De même, les engrais chimiques peuvent être lavés du sol et entraînés dans les eaux douces. Cet enrichissement a pour effet d'augmenter la production d'algues, modifiant ainsi la qualité de l'eau et l'empêchant d'être utilisée à plusieurs autres fins. Finalement, une partie des produits chimiques uitlisés en agriculture, en particulier les poisons tels les insecticides, les herbicides et les fongicides pénètrent dans les eaux douces, s'accumulent dans les organismes et peuvent atteindre un haut degré de concentration dans les animaux au sommet de la chaîne alimentaire.

Érosion du sol

Avant d'être colonisée, la portion méridionale de l'est du Canada était recouverte d'une forêt mixte de bois francs et de pins blancs. Le plancher de la forêt était recouvert d'un tapis de feuilles reposant sur quelques pouces d'humus. Cet humus noir provenait de la déposition annuelle des feuilles, de l'acidité nuisible aux bactéries et de la présence de composés organiques tels les tanins. Le massif forestier et le lit de feuilles servaient à atténuer la force des pluies. La matière organique du plancher de la forêt avait une grande capacité de rétention de l'eau. L'érosion par impact des gouttes de pluie et l'éroision en nappe étaient donc grandement limitées.

La colonisation du début prit la forme de déboisement des forêts de bois francs pour l'agriculture. La mince couche d'humus était ainsi privée de sa source de matériel, et le carbone fut rapidement consommé par les bactéries. Les sous-sols exposés, telles les fines argiles, étaient accessibles et sujettes au transport par l'eau. Il en est résulté un mouvement de vastes quantités de sol vers les rivières et les lacs.

L'étendue de ce phénomène est fonction de la pente des terres, de la porosité du sol, de la présence d'une récolte qui protège le sol en culture, etc. Selon le ministère de l'Agriculture des É.-U., le déboisement et les cultures en rangs ont augmenté l'érosion de 100 à 10 000 fois. Dans le cas des prairies, l'augmentation est de 20–100 fois (Brown 1968). Nous n'avons pas de données sur le transport total des sols au Canada. Aux États-Unis, le transport annuel par les rivières est d'un milliard de tonnes, le Mississippi et ses tributaires en transportant la moitié (Gottschalk et Jones 1955).

La culture de la pomme de terre est un des types d'agriculture les plus dommageables en terme d'érosion. La perte en sol sur une pente de 12% peut atteindre 10–12 tonnes/acre par an. La longévité d'une terre de ce genre est de 2–3 décennies. La cause principale est que le sol est exposé sauf durant une petite partie de l'année. L'érosion est de plus favorisée par le labourage de haut en bas des collines, l'enlèvement des arbustes en bordure, l'utilisation de substances chimiques pour tuer les fanes de pommes de terre, etc. Il n'est pas facile d'évaluer la répercussion sur la rivière Saint-Jean ou sur les cours d'eau de l'Île-du-Prince-Édouard, de la culture de la pomme de terre, mais il est clair que l'effet est considérable.

Drainage des terres humides

La seconde phase des débuts de l'agriculture a été peut-être de trouver des terres périodiquement ou continuellement inondées qui pouvaient être drainées pour la culture ou le pâturage. Dans le sud de l'Ontario, 75% des terres jadis humides sont maintenant égouttées. Les terres humides ont une forte capacité d'emmagasinage d'eau, recevant l'eau des crues chaque printemps et les abondantes pluies périodiques. Ces terres humides ont donc pour effet de modérer grandement les inondations en diminuant le débit de pointe et en prolongeant la durée du débit des cours d'eau. La perte des terres humides a accentué le processus des inondations périodiques. De plus, l'occupation des terres humides ainsi réclamées ajoute naturellement aux dommages causés par les inondations.

Dans l'Ouest canadien, les terres humides sous forme de fondrières ou de cuvettes continuent de s'égoutter à un rythme significatif. Ce processus est en grande partie sous le contrôle du fermier individuel. Il est à l'avantage immédiat de ce dernier de retirer le plus possible de la terre qu'il cultive. L'emploi de machines extra-larges, tels que des motoculteurs de 40 pieds, est compromis quand des fondrières empêchent la machine de se déplacer en ligne droite. Le fermier y remédie en drainant les fondrières si possible, par exemple, grâce à des fossés temporaires creusés chaque automne avec la charrue. Les ministères provinciaux de l'agriculture accordent aussi une aide financière au creusage de fossés plus importants. Le ministère fédéral de l'Agriculture, pour sa part, fournit conseils et encouragement au drainage des fondrières (Korven et Heinrichs 1971). En plus du drainage partiel ou total des terres humides, il est à l'avantage du fermier d'enlever les taillis de bois autour de la fondrière et de bruler la végétation du bassin en automne. Ceci permettra de cultiver plus près de l'eau, surtout dans l'éventualité d'un printemps sec.

Cette pratique a entraîné la perte d'environ 1%/an des terres humides des prairies pendant les décennies d'après-guerre. La perte d'un couvert et de matériel pour la construction des nids à la suite du brûage a un effet nuisible additionel sur le gibier aquatique. Dans de telles conditions, la survie de la couvée d'oiseaux à couvaision hâtive, tel le malard, est très faible, mais la survie d'une seconde couvaison est en moyenne bonne. L'enlèvement du couvert au bord des cuvettes des prairies peut accroître l'efficacité des prédateurs tels que coyotes, renards, putois, etc., en quête d'oeufs et de jeunes oiseaux aquatiques dans les nids.

L'effet total du drainage des terres humides des prairies n'a pas encore été documenté. L'enlèvement du couvert, surtout les trembles et les saules, diminue la quantité de neige emprisonnée dans le voisinage immédiat de la fondrière. Ceci à son tour affecte l'emmagasinage de l'eau et le débit du cours d'eau. On n'a pas encore évalué le changement qui se produit dans le microclimat avec la perte du couvert et de l'eau emmagasinée. Finalement, on ne comprend pas encore très bien le rôle des cuvettes des prairies dans la régénération de la couche aquifère.

Irrigation

L'intérêt porté aux effets de l'irrigation sur la qualité de l'environnement aquatique est axé sur deux points : la quantité d'eau consommée et la qualité de l'eau retournée.

Il est inévitable que l'irrigation se pratique presque invariablement dans des régions de faible précipitation, de haute température, de forte évaporation et où les approvisionnements en eau superficielle sont modestes. Au Canada, de telles régions sont situées dans l'intérieur de la Colombie-Britannique méridionale et dans le sud des Prairies. L'Alberta et la Colombie-Britannique comprennent 73% de toutes les terres sous irrigation au Canada (tableau 2). On se propose d'intensifier l'irrigation en Alberta méridionale et à un degré moindre dans le sud-ouest du Manitoba.

L'effet immédiat de l'irrigation est de diminuer la quantité d'eau des rivières et cours d'eau. Les fermiers doivent se procurer un permis pour retirer une quantité

donnée d'un cours d'eau. Trop souvent on a octroyé des permis dépassant la quantité d'eau disponible dans le cours d'eau. Dans certaines provinces, par exemple, on a accordé des permis pour un enlèvement total égal au débit annual moyen. En été, alors que la demande est à son maximum, le débit est typiquement bien inférieur à la moyenne annuelle. Le cours d'eau entier peut donc être utilisé pour l'irrigation. La qualité de l'environnement aquatique perd toute signification quand la quantité se rapproche de zéro. On a tenté de sauvegarder l'intégrité d'un cours d'eau en exigeant un débit minimal garanti, ou en demandant un permis au nom des truites habitant le cours d'eau ou au nom de l'organisme s'occupant des pêches. Ces tentatives visant à établir des «droits» pour un cours d'eau ont eu un succès limité.

TABLEAU 2. Terre sous irrigation au Canada en 1970. (Source : Statistiques Canada)

Province	Acres
Alberta	537 321
Colombie-Britannique	220 987
Ontario	99 472
Québec	92 895
Saskatchewan	77 489
Manitoba	7 330
Nouveau-Brunswick	3 129
Nouvelle-Écosse	1 866
Île-du-Prince-Édouard	541
Terre-Neuve	123
Total	1 041 153

Dans le plus grande partie de la région des prairies canadiennes où il se fait de l'irrigation, le niveau de sels ou de solides solubles dans le sol est élevé. Il faut donc que l'irrigation soit pratiquée de manière à entraîner non seulement les sels qui étaient présents dans l'eau, mais aussi ceux qui se sont accumulés à l'intérieur ou à la surface du sol. Le ruissellement superficiel provenant d'une telle irrigation contient des solides dissous à des concentrations de 2 à 4 fois plus fortes que la concentration originelle. La salinité des eaux de surface est donc grandement accrue. Dans le sud-ouest des É.-U., on ne peut laisser retourner au fleuve Colorado des eaux d'une salinité aussi élevée, car l'eau du fleuve ne pourrait être utilisée plus loin en aval. Ces eaux de haute salinité sont recueillies, tout comme les égouts, et détournées vers la mer dans des canaux.

Il est peu probable qu'un cas aussi extrême se présente dans les plaines de l'ouest. Mais il est important de reconnaître le degré auquel la qualité de l'eau sera affectée par l'irrigation.

On ne possède qu'une information limitée sur ce problème au Canada.

EAU SOUTERRAINE

Dans l'ensemble, l'apport d'eau souterraine au Canada n'est pas considérable. La couche sous-jacente d'une bonne partie du pays est constituée de roc granitique de capacité d'emmagasinage d'eau faible ou nulle. Malgré cela, l'eau souterraine a une grande importance dans plusieurs régions du Canada. Au Québec, quelque 450 petites communautés et un grand nombre de fermes utilisent de l'eau de puits à des fins domestiques. L'Île-du-Prince-Édouard dépend entièrement de l'eau souterraine pour usage domestique, y compris la ville de Charlottetown. En Nouvelle-Écosse, seule la région d'Halifax-Dartmouth est alimentée par de l'eau de surface. La moitié de la population de Terre-Neuve est concentrée dans le tiers septentrional de la péninsule d'Avalon, et plusieurs de ces gens, par exemple autour de la baie de la Conception, dépendent de l'eau de puits. La contamination de l'eau souterraine dans cette région n'est que trop commune, et il y a un problème sanitaire en puissance.

Dans les grandes plaines centrales, l'eau souterraine est la source la plus commune d'approvisionnement des résidences rurales et des petites communautés. Les solides dissous dans ces eaux sont élevés dans plusieurs régions du sud et du centre-sud des Prairies. Une teneur en sels dépassant 1 000 ppm rend l'eau inacceptable pour usage domestique, abreuvage du bétail et irrigation. Une eau de puits de cette nature déversée dans les eaux de surface diminue la qualité des cours d'eau. Il existe un problème identique avec la qualité de l'eau souterraine dans la région du sud-est de Montréal. La teneur en sels de l'eau est élevée, dépassant 1 000 ppm, à cause de la présence d'une vieille eau de mer. Les vaches auxquelles on donne à boire de cette eau souterraine produisent un lait salé que les laiteries n'acceptent pas. Les apports d'eau de puits ne peuvent donc être utilisés.

Il y a donc un besoin évident de recherche afin de trouver une méthode peu dispendieuse de désalage de l'eau souterraine, en particulier des unités pouvant servir sur une ferme individuelle. Le Conseil de recherches de la Saskatchewan a été le premier à mettre au point des techniques dans ce domaine, telle la congélation de l'eau souterraine à l'extérieur en hiver. Grâce à cette méthode, on peut réduire les solides dissous de 4 000 à 1 000 ppm, mais il reste beaucoup de recherche et de développement à faire.

BÉTAIL ET PÂTURAGES

Les fermes du Canada supportent environ 15 millions de têtes de bétail, 6.5 millions de porcs, 800 000 moutons et agneaux, 37 millions de poulets et 342 000 chevaux (Statistiques Canada). Ces animaux

produisent 150 millions de tonnes de déchets solides et 60 millions de tonnes de déchets liquides annuellement (calculs fondés sur l'American Chemical Society 1969). Cette charge de déchets équivaut à une population humaine d'environ 70 millions d'individus.

Ces déchets sont loin de pénétrer tous dans l'eau douce, mais une bonne partie y est déversée. Les pâturages en particulier contribuent des quantités de déchets disproportionnellement grandes. Le fermier, dans sa prudence, situe son pâturage sur les rives d'un cours d'eau afin que son bétail puisse y boire, et c'est là également qu'il broute. Durant les périodes de ruissellement, surtout au début du printemps quand le sol est encore gelé, les déchets liquides et solides sont lavés dans les cours d'eau. Ceci est particulièrement prononcé en Alberta méridionale, et cette seule pratique agricole est le mécanisme dominant qui détermine la qualité de l'eau dans certains bassins hydrographiques.

Un autre aspect de la haute densité du bétail le long d'un cours d'eau est l'influence qu'ont ces animaux sur la forme physique du cours d'eau lui-même. Les rives en sont continuellement dérangées et les sédiments remués, faisant du cours d'eau un habitat moins convenable à la vie aquatique.

Il s'est fait peu de travaux au Canada dans le but d'évaluer la répercussion des pratiques agricoles, tel l'emplacement des pâturages, sur l'environnement aquatique. Dans certaines provinces, des directives et des règlements commencent à apparaître, mais les recherches sur lesquelles ils sont fondés et le contrôle des résultats demeurent très modestes.

Une réglementation de l'industrie des pâturages n'est ni simple ni automatiquement efficace. On peut spécifier sur le permis accordé le nombre de têtes de bétail admissible, mais il se fait peu d'inspection pour s'assurer que ce nombre n'est pas dépassé. On applique rarement des sanctions, parce que les conditions de ces permis, tel le nombre d'animaux, est tellement arbitraire. C'est-à-dire, comment convaincre un juge que 300 têtes sont acceptables, mais que 305 ou 400 ou 1 000 ne le sont pas? Sur bien des aspects de l'élevage du bétail, nous n'avons pas suffisamment de données sur lesquelles fonder la protection de l'environnement aquatique.

Engrais

Il est difficile de préciser l'étendue et la nature de l'usage d'engrais chimiques en agriculture et, par voie de conséquence, sa répercussion sur la qualité de l'eau douce. La production en 1974 était de 12 310 000 tonnes, et les ventes domestiques de 1 827 000 tonnes. Leur application varie grandement selon la valeur de la récolte, la nature du sol, etc. Le marais Holland, à l'extrémité méridionale du lac Simcoe, Ont., est un exemple extrême. Le sol est constitué de la matière organique du marais drainé, riche en carbone mais déficient en la plupart des autres éléments nutritifs pour les plantes. On applique de l'engrais chimique aux 6 000 acres à un taux moyen de 500 lb/ acre, allant jusqu'à 800 lb/ acre. Une fraction des 3 millions lb ainsi appliquées est lavée du sol, pénètre dans les canaux de drainage et finalement dans l'extrémité méridionale du lac Simcoe. Nicholls et MacCrimmon (1974) ont mesuré l'azote et le phosphore dans de l'eau pompée de lots cultivés et non cultivés. L'azote était de 40–50 fois et le phosphore de 4–5 fois plus élevés dans l'eau provenant du lot cultivé. La plus grande partie de cet engrais est déversée dans la rivière Holland sur une période de 6 semaines au printemps, et 90% du phosphore est sous forme soluble. Ce lac grand et précieux subit une rapide eutrophisation, en partie à cause de cette source d'éléments nutritifs. Par ailleurs, on n'a pas fait l'évaluation critique de la contribution totale des engrais agricoles à la charge d'éléments nutritifs, non plus que de la détérioration de la qualité du lac Simcoe.

Forêts

Dans plusieurs régions du Canada, l'industrie forestière est celle qui a le plus d'effet sur la qualité de l'environnement aquatique. Toutes les phases de l'industrie forestière entrent en jeu : arrosage d'insecticides chimiques, construction de routes d'accès, exploitation des bois, lessivage des éléments nutritifs du sol, érosion, rejet des déchets d'abattage, transport des billots, effluent des pâtes et du papier, agents de stérilisation des boues, perte de mercure, etc. L'évaluation de la répercussion de cette industrie sur l'environnement aquatique est incomplète. Ceci est dû à plusieurs caractéristiques de l'industrie. L'exploitation des bois se poursuit en grande partie dans des régions dont l'accès est limité, et typiquement par des routes qui sont la propriété de sociétés. Comme résultat, le public a une connaissance imparfaite de l'effet des pratiques forestières sur l'environnement et s'y intéresse peu. En second lieu, la répercussion de l'exploitation forestière est extrêmement difficile à mesurer. Les effets flagrants peuvent être assez apparents, comme le déclin d'abondance du saumon dans une rivière, coïncidant avec l'exploitation des bois du bassin hydrographique. Il s'est avéré difficile de traduire un tel changement en une compréhension du mécanisme d'action. C'est pourquoi il y eut rétroaction limitée de la part des gardiens de l'environnement aquatique exhortant l'industrie forestière à la prudence.

Routes d'accès

Les routes d'accès aux forêts, du moins jusqu'à récemment, étaient construites sans trop tenir compte de leur répercussion sur l'environnement. De telles

routes suivaient communément le cours des rivières. Il existe d'innombrables rapports de rives d'argile qui ont été ainsi exposées et de l'envasement continu d'un cours d'eau à truite ou à saumon qui en a résulté. L'apport de ce matériel d'érosion réduit la porosité du substrat et de là, sa convenance pour l'incubation des oeufs de poisson. Un fin matériel comme celui-ci change le cours d'eau comme habitat convenable à la myriade d'invertébrés, surtout ceux qui vivent dans les interstices des galets et du gravier.

Le premier problème sur lequel il faut faire des recherches est l'évaluation de la répercussion de la construction de routes dans une variété de régions forestières. En second lieu, la recherche devrait porter sur l'établissement de directives à l'intention des forestiers et des ingénieurs en ce qui concerne l'emplacement et la construction de routes d'accès aux forêts. En troisième lieu, la formation des forestiers devrait inclure une préoccupation pour l'environnement aquatique.

Exploitation des bois et forêts

L'effet immédiat de l'exploitation est d'enlever le massif forestier et d'exposer la surface du sol au soleil et à la pluie. La perte de végétation diminue la capacité d'emmagasinage de l'eau, augmente l'érosion causée par la pluie et cause une perte additionnelle de matière organique de la surface du sol. L'exploitation des bois et forêts a donc pour effet de réduire la capacité d'emmagasinage de l'eau sur terre et d'accélérer le ruissellement dans les rivières. Comme résultat, les inondations sont plus fortes, les vitesses d'eau plus grandes et l'érosion des cours d'eau accrue. Tout au long du cours d'eau, il y a des régions d'affouillement et d'envasement. L'un et l'autre de ces processus détruisent l'habitat naturel des organismes aquatiques. Les oeufs de salmonidés sont exposés et détruits par l'affouillement ou suffoqués par l'envasement. Des rivières telles que la Pitt supérieure sont devenues beaucoup plus instables à la suite de l'exploitation forestière de son bassin hydrographique, et les populations de saumons ont sérieusement décliné.

Un effet de l'enlèvement du massif forestier est de permettre à la pleine lumière solaire d'atteindre la surface de l'eau. Ceci a souvent pour effet de réchauffer le cours d'eau à un degré que les salmonidés ne peuvent tolérer. Il en est résulté une perte de cours d'eau à truite, en particulier dans l'est du Canada.

Une façon de réduire les effets nuisibles de l'exploitation forestière a été de laisser une bande de forêt intacte le long des rives des principaux cours d'eau. Par allieurs, dans le cas de grands arbres non protégés, il arrive souvent que plusieurs soient renversés par un fort vent, allant ainsi à l'encontre du but pour lequel ils avaient été conservés.

A ce jour, la recherche visant à déterminer les effets de l'exploitation des bois sur l'environnement aquatique a été limitée. Une question qu'on se pose communément est la suivante : quel effet l'exploitation forestière d'un bassin hydrographique aura-t-il sur la production de saumons et de truites dans les rivières? Nous ne possédons pas de modèle prévisionnel satisfaisant permettant d'estimer la production en poisson des cours d'eau avant l'exploitation forestière, encore moins après. On a entrepris trois projets dans le but d'y comprendre quelque chose : un projet à court terme (3 4 ans) dans le bassin Slim-Tumuch (Slaney et al. 1973), un deuxième (10 15 ans) sur le ruisseau Carnation, un cours d'eau côtier de la C.-B. (Narver 1974) et un troisième dans l'intérieur de la C.-B. (rivière Alsea) (10 15 ans). Les résultats de ces études, par exemple dans les forêts côtières de l'Orégon, de Washington et de la Colombie-Britannique, ne sont pas facilement transférables à d'autres régions physiographiques. Il faudra répéter ailleurs au Canada, en particulier au Québec, une recherche sur les cours d'eau des forêts côtières.

Une conséquence de la récolte forestière, surtout la coupe en net, est l'augmentation de la quantité de nitrates dans les cours d'eau (Bormann et al. 1968). Ils peuvent atteindre des niveaux dépassant les normes de santé publique pour l'eau potable. De plus, les nitrates de l'eau souterraine augmentent de 5 à 10 fois par suite d'une coupe à net (Tamm et al. 1974). Le degré auquel des éléments nutritifs sont lavés du sol dépend de la nature de ce dernier et de l'étendue du couvert végétal qui survit. On a fait très peu d'études sur ce sujet dans le monde, et presque aucune au Canada. Il vaudrait la peine d'entreprendre une recherche visant à déterminer la quantité d'éléments nutritifs lavés des sols forestiers après la récolte. Cette recherche, idéalement, ne devrait pas être limitée à ùn type de sols ou de forêts.

Transport par eau

Dans le passé, la majeure partie des billots, une fois coupés, étaient transportés par eau. Dans l'est du pays, la coupe se faisait surtout en hiver, et on profitait des crues printannières pour le flottage des billots vers l'aval. Une autre pratique commune était de construire un barrage sur l'émissaire d'un lac afin d'augmenter le volume d'eau emmagasiné. On faisait ensuite sauter le barrage. Le grand volume d'eau qui s'échappait du lac transportait avec lui la masse de billots entreposés sur le lac. C'était là des pratiques extrêmement destructrices de l'environnement du cours d'eau, causant des dommages mécaniques de l'habitat à la fois par les billots et par l'eau. Les organismes aquatiques, par exemple, étaient détruits ou entraînés loin en aval.

Un autre effet nuisible de ces barrages était de bloquer le cours d'eau aux poissons migrateurs. Un tel

barrage érigé sur l'émissaire du lac Adams, C.-B., a entraîné l'extinction d'une abondante montaison de saumons vers la rivière Adams supérieure. L'information sur la constitution génétique particulière de cette race de saumons nerka a été perdue, et les tentatives de réhabilitation par d'autres stocks génétiques n'ont pas réussi. A cause de tels désastres, les gens intéressé aux pêches voient d'un fort mauvais oeil la construction de barrages pour le flottage des billots et, en général, on en construit de moins en moins. Il y a tout de même encore 5 000–10 000 barrages de ce genre en usage au Québec, et il faudrait en étudier les effets beaucoup mieux qu'on ne l'a fait jusqu'à maintenant.

Un autre aspect du transport et de l'entreposage des billots dans l'eau est la déposition sur le fond de bois et d'écorces alourdis par absorption d'eau. Un matériel de cette nature peut s'y accumuler sur une épaisseur de plusieurs pieds, comme c'est le cas dans certains portions de la rivière des Outaouais. Ce matériel organique est riche en substances organiques, comme la lignine et le tanin, résistantes à l'action des bactéries et se décomposant donc très lentement. Comme substrat de fond, l'écorce ne favorise pas la production d'organismes benthiques et a une forte demande en oxygène.

Insecticides forestiers

L'usage intensif d'insecticides débuta en 1952 au Nouveau-Brunswick, dans le but de contrôler la tordeuse des bourgeons de l'épinette. L'insecticide utilisé au début, le DDT, s'avéra destructeur de plusieurs organismes non visés dans les forêts et les cours d'eau. On s'est objecté à la destruction de jeunes saumoneaux atlantiques, d'oiseaux chanteurs et de gibier, et l'usage du DDT fut discontinué. En 1975, la tordeuse des bourgeons de l'épinette avait envahi plus de 7 millions d'acres au Nouveau-Brunswick, 2.5 millions en Nouvelle-Écosse et des superficies importantes à Terre-Neuve, au Québec, en Ontario et dans certaines parties du Maine et du Manitoba. L'arrosage fut limité au Nouveau-Brunswick et au Québec, et on utilisa le fenitrothion. Cet insecticide se montre moins toxique pour les organismes aquatiques, et son emploi continu peut ne pas nuire au rétablissement et au rehaussement du saumon atlantique. Il y a cependant des doutes quant à l'efficacité du programme d'arrosage; après plus de 2 décennies d'arrosage, l'infestation de 1975 par la tordeuse des bourgeons de l'épinette est la plus forte de toutes.

Un des coûts du programme d'arrosage résulte du nombre considérable d'hommes-années que les scientifiques doivent consacrer à la mesure de la toxicité des insecticides employés, spécialement la toxicité pour les espèces de valeur tel le saumon atlantique. De plus, un nombre appréciable de spécialistes s'occupent de surveiller la répercussion du programme d'arrosage sur l'environnement. Le résultat global est donc d'occuper un corps important de compétences scientifiques à protéger le saumon contre une autre activité humaine. Les ressources financières étant limitées, un travail de protection de cette nature se fait au dépens de la réhabilitation et du rehaussement de la ressource en saumons.

On devrait donner très haute priorité à la recherche sur une méthode alternative, plus efficace, de contrôle de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Pour une multitude de raisons, il y a également lieu de s'inquiéter de la quantité d'insecticides perdus ou déversés. C'est la cas par exemple du délestage de l'insecticide par les aéronefs. Ceci s'est produit plus d'une douzaine de fois entre le 20 mai et le 22 juin 1975 au Nouveau-Brunswick seulement. Il y eut pour cela des causes variées, par exemple: 20 mai, écrasement de l'avion; 22 mai, perte de pouvoir au décollage, rejet de 625 gal de fenitrothion; 24 mai, déclenchement accidentel des panneaux du porte-bombes, délestage de 625 gal de fenitrothion; 25, 26 mai, perte de pouvoir au décollage, 625 gal de fenitrothion; 30 mai, septième perte de la cargaison entière, à cause d'une défectuosité des conduits hydrauliques; 10 juin, 10^{e} incident, l'avion s'écrase et brûle, 625 gal d'insecticide se vaporisent; 22 juin, délestage de 550 gal de fenitrothion à un aéroport et de 625 gal de dimecron à un autre.

Après le septième incident, l'officier du SPE notait: «... on est pas mal sûr qu'il ne reste plus d'insectes autour de la piste de Juniper.» Ce qui est étonnant, c'est qu'il y resta encore des gens.

Fabrication des pâtes et du papier

La production des pâtes et du papier se fait suivant l'un ou l'autre de deux procédés, le procédé au sulfite et le procédé kraft. Le premier est le plus ancien des deux et implique le rejet de l'eau de traitement après un seul usage. Le procédé kraft permet le recyclage d'une bonne partie de l'eau de traitement, mais produit un déchet, la liqueur kraft. Les deux méthodes exigent des usines assez différentes, et on ne peut convertir ces dernières par exemple de l'ancien procédé au nouveau. Généralement parlant, les vieilles usines à sulfite peuvent difficilement se conformer à la réglementation moderne sur les effluents.

Ce qui complique davantage les choses, c'est que les effluents d'usines individuelles de l'un ou de l'autre type ont leur composition et leur toxicité propres. Propres mais non nécessairement uniformes; c'est-à-dire, la composition varie. Cette variabilité est due en partie au grand nombre de substances organiques présentes dans l'effluent. Il a fallu, dans l'établissement des critères, adopter une philosophie différente de celle, par exemple, traitant de l'effluent des mines. On peut doser chimiquement les toxiques que contient

ce dernier. L'effluent d'usines de pâtes se définit en termes de demande biochimique en oxygène et de toxicité à l'endroit d'organismes aquatiques. Des analyses biologiques de ce genre requièrent beaucoup de temps et des installations coûteuses. Beaucoup de recherches ont été consacrées à ce problème au Canada (Servizi et al. 1966; Servizi et Gordon 1972; Loch et MacLeod 1973). On est en train de préparer une réglementation et des directives à l'intention de l'industrie. Il est à espérer qu'une fois ces directives compilées, on réorientera une bonne partie de cette recherche et de ce contrôle continu. Il reste au Canada relativement peu de sites pour la construction de nouveaux moulins de pulpe, et il est possible que l'expansion future de cette industrie ralentisse, ce qui nécessiterait moins de recherche et de contrôle continu.

Dans un cas, une nouvelle papeterie kraft a opté pour un système en circuit fermé qui ne déverse que l'eau de refroidissement. Toutes les eaux de traitement sont recyclées à l'intérieur de l'usine. Cette approche a été adoptée en partie sur recommandation d'Environnement Canada et de son Programme de techniques pour la suppression de la pollution. Il est à espérer que ce nouveau concept sera adopté par d'autres usines de pâtes et de papier, de même que par d'autres types d'industries.

Désinfectants des boues, agents chloroalcalins de blanchiment et mercure

L'industrie forestière a deux usages principaux du mercure: dans les désinfectants des boues et dans les agents chloroalcalins de blanchiment. Dans plusieurs cas, une forte quantité de mercure s'est échappée dans l'environnement, comme par exemple à Dryden, Ont., et à Label-sur-Quévillon, Qué.

Il est apparu clairement à la Conférence de Stockholm de 1966 que le mercure dans l'environnement était un problème. On doit à Jensen et Jernelov (1969) la publication du premier rapport à l'effet que des organismes aquatiques convertissent le mercure inorganique en mercure-méthyl beaucoup plus toxique. En 1970, l'Ontario ordonnait à cinq usines de blanchiment chloroalcalin et à cinq usines de pâtes et de papier de réduire rigoureusement la quantité de mercure qu'ils laissaient s'échapper dans les eaux usées. Une poursuite judiciaire fédérale-provinciale fut lancée contre la Dow Chemical, Sarnia, Ont., et l'on discontinua la pêche dans le lac Sainte-Claire.

La pollution par le mercure reçut une publicité mondiale lorsqu'on en signala les effets sur la population de Minamâta, Japon. Cent personnes moururent et 700 devinrent aveugles ou infirmes après avoir mangé du poisson contaminé au mercure. Cette maladie était connue des habitants de l'endroit plusieurs années avant qu'on ait identifié le mercure comme agent responsable.

La pollution par le mercure dans le région de Dryden, réseau des rivières des Anglais-Wabagoon, fut connue du public en 1971. Les habitants des réserves de Grassy Narrows et de Whitedog, dont le régime alimentaire est constitué en grande partie de poisson, ont été plus particulièrement affectés. On a demandé aux 8 000 résidents de la région des Anglais-Wabagoon de ne pas manger de poisson provenant des eaux contaminées. Il a été particulièrement difficile aux résidents des réserves de ne pas continuer de manger leurs repas traditionnels de poisson.

Le réseau de la rivière Bell au Québec semble avoir été encore plus sérieusement pollué. On a constaté parmi la population indigène de la région de hauts niveaux de mercure dans le sang; chez 16 personnes, ce niveau excédait $100 \cdot 10^{-12}$ ce qui est 10 fois supérieur au niveau acceptable. Trois personnes avaient des niveaux excédant 500, et une personne excédant $650 \cdot 10^{-12}$

Il existe maintenant une abondante littérature sur la répartition et les effets du mercure (Robinson et Scott 1974; Friberg et Vostal 1972; Lambou 1972), et sur sa persistance dans l'environnement aquatique (Uthe et al. 1973). Plusieurs aspects n'ont pas encore été couverts. Nous n'avons pas de revue générale du mercure dans l'environnement canadien. Une telle revue devrait être préparée dans le contexte (a) des niveaux de mercure présent dans les eaux et les poissons qui les habitent, et (b) de la quantité de mercure qui est endémique et de la quantité qui est due à l'homme. Ici encore, il est nécessaire d'avoir accès aux données accumulées au cours des opérations intensives d'inspection du poisson. Il existe maintenant suffisamment d'information démontrant qu'il y a au Canada des régions de haute teneur en mercure endémique, tels les lacs Evans et Mistassini.

La contamination par le mercure, naturelle ou due à l'homme, a entraîné la fermeture de certaines pêcheries et une exploitation limitée d'autres. La pêche de l'espadon a été interdite vers la fin des années 1960, alors que le Canada et les États-Unis décrétèrent un niveau maximal de mercure de 0.5 parties par million. On rejette fréquemment de grands thons à cause de leur haute teneur en mercure; les thons excédant légèrement la limite sont préparés en flocons et mélangés à de la chair de thons ayant une teneur inférieure à la limite pour donner un produit de niveau acceptable sur le marché. Il est difficile de s'imaginer comment on pourrait réduire la concentration du mercure dans l'océan. La seule approche alternative à l'utilisation des espèces à haute teneur en mercure est donc de réduire la teneur en mercure des tissus du poisson lors de la transformation. Il y aurait lieu de faire des recherches en ce sens. Ceci pourrait être économiquement faisable dans le cas d'espèces de valeur, tels les thons et l'espadon.

Mines

Une mine de métaux est située sur l'emplacement d'un corps minéralisé, et de tels dépôts se trouvent typiquement dans des régions de bouclier ou de montagnes, c'est-à-dire là où le socle rocheux est exposé. Par définition, de telles régions ont tendance à être éloignées et peu peuplées. Dans le passé, au stade de pré-développement, on se préoccupait assez peu de l'impact d'une telle mine sur l'environnement. Les sociétés minières pouvaient négocier des droits qui leur permettaient de polluer les eaux, par exemple, sur une superficie considérable. Avec l'accroissement de la population dans la région de développement, on se préoccupa davantage de la qualité de l'environnement local, mais les communautés dont l'emploi dépend d'une mine ou d'une fonderie n'étaient pas trop enthousiastes à exercer des pressions auprès de leur employeur pour protéger la qualité de l'environnement. La pression provenant de l'extérieur de la communauté était parfois plus efficace. Par exemple, quand les fumées de la fonderie de Trail, C.-B., causèrent des dommages aux vergers des É.-U., les fermiers affectés se plaignirent auprès de leur gouvernement et celui-ci, à son tour auprès du gouvernement du Canada, et des mesures correctives furent appliquées. Depuis ce temps, la récupération du bioxyde de soufre à cet endroit a été exemplaire, en partie peut-être parce que cette récupération est à la base d'une industrie d'engrais prospère.

Déchets miniers acides

Plusieurs types d'opérations minières produisent des déchets acides. L'extraction du charbon, par exemple, peut exposer la pyrite de fer qui, par oxydation, donne de l'acide sulfurique. Dans les régions où il se fait une exploitation à ciel ouvert intensive, comme dans celle des Appalaches, les déchets miniers ont affecté de grandes quantités d'eau douce. Jusqu'à maintenant, ce problème n'a pas été aussi sérieux au Canada. L'exploitation du charbon à ciel ouvert dans la région de Minto, Nouveau-Brunswick, a causé des problèmes de pollution par acides dans les cours d'eau se déversant dans le lac Grand.

Dans les mines de métaux, les composés de plusieurs métaux toxiques, tels le zinc et le cuivre, se dissolvent dans une eau acide. Le sulfure de plomb, par exemple, est relativement insoluble (Hawley 1972a), mais les déchets acides peuvent avoir pour effet de mettre en solution ce qui était les sels insolubles de métaux lourds potentiellement toxiques, et de les rendre ainsi accessibles aux écosystèmes aquatiques.

Une des pires causes de déchets miniers acides qui ont détruit une pêcherie de valeur est la mine Brunswick #6 (Cook et Hoos 1971). Il est difficile de le croire, mais les eaux usées avaient un pH de 3.0 et une composition de 389 ppm de zinc, 31 ppm de cuivre et 131 ppm de fer (Montreal Engineering 1972). Il en est résulté des mortalités de poissons pendant 3 ans, avant que la qualité de l'eau ait pu s'améliorer suffisamment pour permettre la survie. La Petite rivière où se trouvait l'ancienne mine Brunswick #12 et où opère encore le moulin est, elle aussi, lourdement polluée, et on dit qu'elle ne contient plus de poissons en aval du site. On a surveillé le cuivre et le zinc dans la rivière Miramichi pendant 12 ans (Carson 1974), après que Schofield eut observé les mouvements des poissons vers l'aval et que Sprague (1964) eut établi une relation entre ces mouvements et la haute concentration en ions métalliques résultant du pompage des fosses et des puits.

Le traitement des déchets miniers acides a été couronné d'un certain succès. On a appliqué l'an dernier de la chaux à la mine Wedge abandonnée, et on fait des recherches en vue de trouver une solution permanente. Dans ce cas particulier, la société propriétaire de cette mine est à la fois grande et active. Il n'existe pas encore de mécanisme pour remédier à la contamination causée par une mine abandonnée, quand la société minière a cessé d'exister. Herricks et Cairns (1973) font la revue des problèmes de réhabilitation.

Les travaux effectués au Canada sur le rôle des agents de chélation dans la fixation des métaux lourds toxiques et sur l'effet de l'alcalinité sur la disponibilité des ions métalliques sont particulièrement pertinents. Dignes de mention spéciale sont les contributions de Sprague (1974), Zitko (1970), Wildish et al. (1971), Cook et al. (1971), Cook et Côté (1972) et Chau (1973).

Eaux usées d'extraction et de traitement

Les eaux usées des mines résultent de l'eau utilisée dans les opérations minières, de l'entrée d'eau souterraine dans les mines et de l'accumulation d'eau superficielle dans les mines à ciel ouvert. Les volumes impliqués ne sont peut-être pas très grands, mais la qualité de cette eau peut être considérablement affectée. L'eau provenant de la mine Heath Steele (N.-B.) contient 39 ppm de plomb et 220 ppm de zinc (Montreal Engineering 1972). On a abaissé expérimentalement cette incroyable toxicité par application de chaux (Wells et al. 1974). La mine Giant (T.N.-O.) a des eaux usées d'une turbidité de $> 1\,000$ ppm et d'une teneur en arsénic de 176 ppm (Falk et al. 1973). Clarke (1974) constate que l'ammoniac, provenant d'explosifs de nitrate d'ammonium, est présent à des teneurs allant de 0.2 à 100 ppm.

Le traitement des minéraux requiert de fortes quantités d'eau, une moyenne de 800 gal par tonne de

minérai traité en Ontario (Hawley 1973). La composition de l'eau de traitement est altérée par addition d'une variété de produits chimiques afin d'augmenter ou de diminuer le moussage et la flottation, régler le pH, disperser les boues, agir comme collecteurs, etc. On a des données sur ce sujet en termes de leur toxicité (Hawley 1972b). La plupart des moulins récupèrent et recyclent l'eau de traitement, avec quelque perte et addition à chaque cycle. La qualité de l'effluent final variera considérablement d'un moulin à l'autre, selon les minéraux exploités et le processus d'extraction utilisé. La mine Con (T.N.-O.) a un effluent d'une dureté de 3065 ppm, et d'une teneur de 3135 ppm de chlore et de 6.8 ppm d'arsénic. Les eaux usées de la mine Giant continennent 8.3 ppm de cuivre et 15 ppm d'arsénic. Les réactifs organiques ajoutés à l'eau de traitement appraissent dans l'effluent du moulin à de basses concentrations : xanthates 0.2–0.4 et bithiophosphate 1.2–10.0 ppm (Montreal Engineering 1972), et l'azote au Kjeldahl 1.3–12.2 ppm (Falk et al. 1973).

Résidus miniers

Un sous-produit commun de l'exploitation ou du traitement des produits miniers est l'étang de résidus, un bassin de sédimentation dont la fonction est de retenir la matière particulaire de taille allant jusqu'à poussière de roche. De telles installations sont d'une efficacité variable et ne fonctionnent pas toujours lorsqu'il y a inondation. Comme résultat, de grandes quantités de résidus miniers sont rejetées soudainement dans les lacs ou les cours d'eau. Comme exemple, deux brèches dans les digues de résidus à la mine Anvil, Yukon, le 19 mars 1975 libérèrent 162.6 millions de gal de résidus et de produits de décantation (toxiques et alcalins, pH 10.7). La mine de Pine Point possède un étang de résidus, mais durant les crues printannières, jusqu'à 50% de la décharge contournent l'extrémité de la digue, évitant ainsi le système de décantation (Stein et Miller 1972). Ces «accidents» sont des désastres de premier ordre pour l'environnement. Il y a lieu de faire des recherches en vue de construire des étangs de résidus beaucoup plus sûrs.

Quels que soient les défauts de l'étang de résidus, il représente quand même une amélioration sur le rejet direct des résidus dans l'environnement aquatique. Le cas le plus incroyable doit être celui de la société Reserve Mining (Minnesota) qui rejette quotidiennement 67000 tonnes de résidus dans le lac Supérieur. On le fait depuis 19 ans (Anon. 1973a, b). Ceci représente plus de 5 fois tous les solides qui pénètrent naturellement dans ce lac par érosion des rives et qui sont transportés par les quelques 200 rivières ou plus qui se déversent dans le lac (Carter 1974). Ces résidus ont maintenant altéré, esthétiquement et écologiquement, quelque 2000 milles carrés du lac. Les communautés situées à l'extrémité occidentale du lac ont dû chercher des sources alternatives d'eau. Il est inconcevable que le lac Supérieur, contenant $\frac{1}{13}$ de toute l'eau douce de cette planète, ait pu être traité de cette façon. Deux leçons sont à retirer de cet outrage. La première est que le Canada ne peut permettre une détérioration des eaux limitrophes de se poursuivre pendant 19 ans sans formuler une plainte officielle auprès du gouvernement des États-Unis. La seconde est que les Canadiens ne peuvent supposer qu'un problème de cette nature sera immédiatement résolu par nos voisins américains. (Ce cas est devant les tribunaux depuis 7 ans.) Les Canadiens devront s'intéresser davantage à l'abus que l'on fait des eaux communes aux deux pays. Le Traité sur les eaux limitrophes exige que les deux pays ne fassent rien aux eaux communes qui puisse en diminuer la valeur pour l'autre pays. Ce Traité a certainement été violé dans le cas du lac Supérieur.

Au Canada, le rejet des résidus miners dans les lacs est rare. Des exemples en sont le lac Wabuch, Labrador, et le lac Benson (Kussat et al. 1972) où le rejet dans le lac a maintenant cessé (Hallam et al. 1974).

Pollution atmosphérique, retombées et précipitation

La fonte des métaux peut libérer dans l'atmosphère de grandes quantités de bioxyde de soufre et des quantités considérables de métaux. Ce matériel est plus dense que l'air, et les particules les plus lourdes apparaissent sous forme de retombées dans le voisinage de la source. Les courants descendants peuvent produire localement d'intenses fumées au niveau du sol. Finalement, toutes les substances contaminantes de l'atmosphère peuvent retourner à la terre avec la pluie ou la neige.

Depuis toujours, la fonte des minérais contenant des sulfures comporte le grillage du minérai, c'est-à-dire une oxydation produisant du bioxyde de soufre. Dans la région de Sudbury, par exemple, à partir de 1885, le minérai de nickel était grillé à ciel ouvert, et les fumées détruisaient la vie végétale à des milles à la ronde. (En l'an 1985, la population de la région de Sudbury se sera plainte de la pollution atmosphérique depuis 100 ans.)

Dans certains localités, la quantité de bioxyde de soufre ainsi libérée peut être très grande et affectera beaucoup l'environnement aquatique sur quelque distance. Pendant plusieurs décennies précédant la fermeture de Coniston et l'érection d'une superchemineé, les fonderies de la région de Sudbury émettaient quelque 2.6 millions de tonnes de SO_2 annuellement. Ce gaz, un précurseur de l'acide sulfurique, est très soluble dans l'eau et retourne à la terre sous forme de pluie ou de neige acides. Son effet

sur l'environnement aquatique est l'acidification des lacs et cours d'eau (Gorham et Gordon 1960; Beamish et Harvey 1972). Les changements dans la biocénose peuvent être très grands, avec perte partielle ou complète des espèces de poissons (Beamish 1974; Harvey 1975a; Beamish et al. 1975) et formation de communautés particulières de zooplancton (Sprules 1975). D'autres sources ponctuelles de bioxyde de soufre ont des effets semblables ailleurs, comme par exemple l'usine de frittage à Wawa, Ont. (Gordon et Gorham 1963).

Le problème de la précipitation acide et de ses effets sur les eaux douces ne se limite pas à la région de sources ponctuelles d'émission de SO_2. Le phénomène se produit depuis plusieurs années en Scandinavie. La portion méridionale de la Norvège et de la Suède reçoit de grandes quantités de précipitation acide provenant de la combustion de charbon contenant du soufre et de l'émission des véhicules en Europe occidentale (Anon. 1972; Willen 1972; Odén et Ahl 1975). Si cette précipitation acide continue, la plupart des eaux douces du quart méridional de la Suède et de la Norvège seront tellement acides que les espèces de poissons désirables ne pourront plus y vivre à la fin du siècle.

On a été lent à reconnaître ce vaste problème en Amérique du Nord. On n'a pas encore défini l'impact, sur les lacs de l'Ontario, des polluants industriels et domestiques émanant de Détroit, Chicago, Cleveland, Toronto, etc. Le fait que cette ceinture industrielle affecte les lacs de l'État de New York a déjà été signalé (Adirondack League Club 1971; Likens et al. 1972). Au Canada, il faudrait faire une étude transdisciplinaire du problème, dans laquelle l'effet sur les eaux douces, et partant sur la biocénose, ne serait qu'une composante (bien qu'importante).

Les premières tentatives (1973) de réforme des lacs acides ont été faites dans la région de Sudbury (Adamski et Michalski,1975; Schneider et al. 1975). Ces auteurs ont signalé des changements chimiques dans deux lacs à la suite d'un traitement à la chaux ou à la chaux et carbonate de calcium. L'année suivante, le lac Hannah fut traité à l'hydroxyde de calcium et au carbonate de calcium. On se propose de traiter les lacs Nelson et Joe en 1975. Plus tard, on se propose de faire des peuplements de poissons dans ces lacs et de créer une pêche sportive pour remplacer celle perdue lors de l'acidification. On ignore pour le moment quelles espèces de poissons pourront réussir dans ces environnements altérés à deux reprises. C'est-à-dire, quelles seront les exigences en eau des poissons, en relation avec ces environnements artificiels.

Les niveaux de soufre, d'arsénic, de cuivre, de fer, de nickel et de sélénium sont élevés dans la végétation terrestre (Water Pollution Control 1973; Costescu et Hutchinson 1972), surtout au nord-est de Sudbury. Les lacs de cette région contiennent des niveaux exceptionnellement élevés de métaux lourds, surtout cuivre et nickel, et la flore algale limitée qui s'y trouve est adaptée à ces hautes concentrations (Stokes et al. 1973).

Production d'énergie

On eut tôt fait de réaliser, au début de la colonie, qu'il y avait au Canada un pouvoir hydraulique relativement peu coûteux pour actionner les moulins à farine et les moulins à scie de l'économie des pionniers. Le paysage de l'est du Canada est encore parsemé de vieux barrages et moulins. Leur effet sur l'environnement, comme la retenue d'un cours d'eau en un étang ou un lac, était ordinairement faible. Par ailleurs, les nombreux barrages sur des rivières telles que les rivières Credit, Hopper et Don (rive septentrionale du lac Ontario) contribuèrent sans doute à la dispartion du saumon atlantique de ces cours d'eau.

Barrages hydro-électriques

La fin du 19^{e} siècle marque les débuts de l'électrification au Canada; par exemple, la première centrale hydro-électrique en Ontario est probablement celle de l'Ottawa Electric Light Company en 1881, fournissant l'éclairage à un moulin à scie. Moins d'un siècle après, il ne reste que peu de sites pour l'installation de centrales hydro-électriques dans la partie habitée du Canada. Il y a encore un bon potentiel au Labrador, dans la partie québécoise du bassin de la baie James, sur le fleuve Nelson au Manitoba et sur plusieurs rivières de la Colombie-Britannique. Une bonne partie de ce développement potentiel en est présentement au stade de planification ou de construction. Si l'on tient compte de toutes les installations en opération ou en construction au Canada, il ne reste que peu de possibilités de développement hydro-électrique en dehors du Labrador et de la Colombie-Britannique.

On a fait beaucoup de recherches au Canada, peut-être plus qu'ailleurs, sur les problèmes de l'environnement liés au développement de l'énergie hydro-électrique. Ces travaux ont été résumés dans plusieurs revues détaillées (Andrew et Geen 1960; Geen 1974; Efford 1975; Efford et Smith 1972). La construction de barrages suscite bien des problèmes, dont plusieurs sont particulièrement difficiles à étudier. Un des problèmes le plus intensivement étudiés est celui des mouvements et de la répartition des poissons dans le réservoir formé en amont de barrages. Les déplacements, tant en aval qu'en amont, des salmonidés ralentissent, et les poissons peuvent être perdus. Pour permettre aux poissons de franchir un obstacle tel un barrage, il faut les rassembler ou les concentrer à un endroit, soit l'entrée d'une passe migratoire ou d'une chambre de transport. On a

proposé plusieurs méthodes à cette fin, mais le succès a été limité.

Un barrage peut entraîner bien d'autres changements dans la qualité de l'environnement aquatique. Les eaux superficielles du réservoir peuvent se réchauffer au point que les salmonidés descendront à des profondeurs plus froides. Cette activité pourra les empêcher de s'échapper du réservoir vers l'aval si la seule sortie se trouve à la surface. Un problème sérieux du fleuve Columbia est la sursaturation en azote du fleuve entier, résultant de l'eau d'un déversoir entraînant de l'air en profondeur et de gaz supplémentaire en solution sous pression (Harvey 1975b). Un autre problème est le changement de la nature chimique de l'eau par la transformation d'un lac ou d'une rivière en un réservoir. Les indices chimiques permettant aux poissons de s'orienter peuvent disparaître.

Le Canada possède un grand nombre de compétences ayant une expérience dans l'étude de ces problèmes. Les organismes de pêche (provinciaux, fédéraux et, en particulier en Colombie-Britannique, internationaux) ont étudié plusieurs de ces problèmes. En général, la politique des gouvernements provinciaux et fédéral est que les rivières à saumon ne doivent pas servir à la production d'énergie. Si plus tard cette politique était mise de côté, il faudrait entreprendre de nouvelles recherches.

Il reste un autre groupe de problèmes associés au développement de l'énergie hydro-électrique sur lesquels on n'a pas fait suffisament de recherche. Il s'agit de l'observation subséquente à la construction d'un barrage, observation extrêmement pauvre ou inexistante. La plupart des barrages ont été construits sans une évaluation préalable des changements qu'ils pourraient causer à l'environnement. C'est ainsi, par exemple, que nous ne connaissons pas les effets de barrages sur le fleuve Saint-Laurent et leur rôle possible dans la disparition d'importantes pêcheries, telles que celles de l'esturgeon et du bar d'Amérique. Le récent travail de Sutcliffe est effrayant. Il semblerait que les rivières qui se déversent dans le golfe Saint-Laurent sont la force motrice de la circulation de cette masse d'eau immense et productive. La création de réservoirs de retenue dans ces rivières, en contrôlant le débit printannier, a profondément diminué la remontée d'eaux profondes riches en éléments nutritifs.

Un autre domaine où il n'y a pas eu suffisamment de recherche est la qualité de l'environnement aquatique dans un réservoir, en termes de productivité. L'inondation d'une vallée de rivière entraîne au début un lessivage des éléments nutritifs dans l'eau et une productivité biologique accrue. Cette augmentation tend à être de courte durée, et les populations de poissons retombent à leur niveau ou au-dessous de leur niveau d'avant-retenue. Les projets de réservoirs contiennent souvent des sections traitant des nouvelles pêches qui résulteront de la création ou de l'agrandissement d'un plan d'eau. Il serait difficile de trouver un cas au Canada où ces pêches anticipées se sont réalisées.

De même, les pêches de sport dans les réservoirs ont une popularité limitée. Le plaisir de la récréation est gâché par les innombrables arbres morts qui percent à la surface et par les plages de vase qui apparaissent quand le réservoir baisse. La destruction graduelle de ces forêts submergées se mesure, non pas en années, mais en décennies ou en siècles.

L'évaluation des répercussions de nouveaux barrages est une récente innovation au Canada. Il n'y en a pas eu de faite pour le développement des chutes Churchill, Labrador, non plus que pour le projet de la baie James avant la mise en oeuvre des chantiers. Par ailleurs, on a maintenant effectué des études détaillées des bassins en rapport avec un réservoir de retenue sur la rivière Churchill, Saskatchewan, et le détournement de la rivière Churchill dans la fleuve Nelson, Manitoba. Des études de moindre importance ont été faites sur d'autres rivières, e.g. la rivière Snare, T.N.-O. (Weagle et Cameron 1974). On se propose d'étudier le lac Sud des Indiens après l'inondation; si l'on y donne suite, ce sera la première fois que l'on vérifie le processus d'évaluation de l'impact sur l'environnement des barrages et des réservoirs. C'est-à-dire, pour la première fois on aura une mesure de la précision d'une évaluation. La préoccupation courante pour l'écologie pourrait bien forcer l'évaluation de toute création de réservoirs de retenue dans les rivières de la C.-B., et il est à espérer qu'une pression de cette nature produira des résultats aux sites de barrages qui restent au Labrador.

La période d'expansion dans la production d'énergie hydro-électrique tire rapidement à sa fin, et on ne prévoit pas un grand besoin d'initiatives de recherche dans ce domaine. Les dommages sont là, ils sont irréversibles et on ne peut y remédier par une meilleure compréhension de la façon dont ils se sont produits. La main-d'oeuvre disponible suffit à s'occuper de la modeste expansion future de l'énergie hydro-électrique. Bien que la base de données soit faible, elle est probablement suffisante pour satisfaire aux besoins limités de l'avenir.

Usines utilisant des combustibles fossiles

Dans le passé et encore aujourd'hui, en l'absence d'une énergie hydraulique suffisante, la méthode la plus commune de production d'électricité est la combustion de charbon, de pétrole ou de gaz. La vapeur ainsi produite actionne des turbines, est ensuite condensée, et la chaleur est dispersée dans l'eau de refroidissement. De telles usines manquent d'efficacité, et la quantité de chaleur déversée dans

l'environnement est très grande dans le cas de grandes usines. Un apport adéquat d'eau de refroidissement est la première considération qui entre en ligne de compte dans le choix d'un site pour l'usine, sur une rivière, un lac ou le long de la côte. Dans le cas où il n'y a pas suffisamment d'eau pour un refroidissement d'une seule venue, le refroidissement peut se faire par évaporation d'une quantité d'eau plus faible. Un avantage des usines utilisant des combustibles fossiles est qu'elles peuvent être mises en marche et arrêtées assez rapidement. Elles conviennent donc particulièrement bien à fournir de l'énergie en périodes de pointe, avec augmentations ou diminutions soudaines de chaleur perdue et de là, de la température de l'eau de refroidissement.

Les répercussions de telles usines sur l'environnement sont nombreuses, et on a fait des recherches poussées dans ce domaine dans l'est des É.-U., surtout aux usines de la rivière Ohio, à l'intérieur de la Tennessee Valley Authority, et sur les Grands lacs. L'attraction physique des poissons vers des régions de courants ou vers des eaux plus chaudes est un des effets. Typiquement, il faut éloigner mécaniquement les poissons des prises d'eau de refroidissement et parfois de l'effluent d'eau réchauffée. La température de l'eau de refroidissement s'élève ordinairement de 10 20 C et peut dépasser la limite létale supérieure pour quelques-unes ou la totalité des espèces, surtout en été. En hiver, les poissons acclimatés à une eau de refroidissement chaude peuvent être soudainement exposés à une température beaucoup plus basse quand l'usine cesse de fonctionner. Il en est résulté de fortes mortalités chez les poissons.

Une autre conséquence du réchauffement de l'eau est de réduire son aptitude à retenir l'oxygène dissous. Le poisson se trouve dans une situation difficile : l'élévation de la température accroît son activité métabolique tout en diminuant le contenu en oxygène nécessaire à une activité accrue. Comme résultat, l'animal sera moins capable de poursuivre une activité supplémentaire. À court terme, le réchauffement de l'eau réduit sa capacité de rétention d'azote, mais il est possible que le gaz ne soit pas libéré. La sursaturation qui en résulte peut causer une embolie gazeuse (Harvey 1975b) et la mort des animaux.

Les déchets de combustion de combustibles fossiles présentent un problème. Le charbon contenant du soufre, le pétrole et le gaz produisent de grandes quantités de bioxyde de soufre qui retournent à la terre sous forme de précipitation acide. On ne fait que commencer à évaluer l'étendue et le sérieux de ce phénomène en Amérique du Nord, mais l'effort total de recherche est encore faible. Une bonne partie de la science fondamentale à la solution du problème décrit plus haut prit naissance au Canada, et il existe un fondement adéquat de recherches, tant en compétences qu'en information. Une bonne partie de ce travail est l'oeuvre de F. E. J. Fry et de ses étudiants (Kerr et Lawrie 1976).

Réacteurs nucléaires

La production commerciale d'électricité à l'aide d'un réacteur nucléaire a débuté au Canada en 1962 avec le réacteur expérimental NDP à Rolphton, qui fournit 25 000 kw au réseau de l'Ontario. Un réacteur expérimental WR-1 commença à fonctionner en 1965 à l'Établissement de recherches nucléaires de Whiteshell. L'unité utilise une huile légère comme caloporteur, et les 60 000 kw de chaleur produite se dissipent dans la rivière Winnipeg. Vint ensuite le système Candu de l'Énergie atomique du Canada Ltée (ÉACL) construit à Douglas Point, qui commença à produire 200 000 kw en 1967. Un réacteur à eau légère bouillante (BLW) a été construit par l'ÉACL et mis en service par l'Hydro-Québec en 1970, avec production d'énergie de 250 000 kw. La centrale nucléaire de Pickering a été construite par l'Hydro-Ontario et, avec l'opération du premier de quatre réacteurs en 1971, cette centrale devint la plus grande au monde, produisant 2 160 000 kw. La centrale nucléaire de Bruce est présentement en construction, avec quatre réacteurs qui entreront en service en 1976–78 et auront une capacité totale de 3 200 000 kw. Également en construction par l'Hydro-Ontario est Pickering B qui doublera la production énergétique de la présente centrale en 1980 82. Un réacteur produisant 3 000 000 kw, situé à Bowmanville, entrera en service en 1981–83 (Ontario Hydro 1974). La centrale nucléare suivante à être construite dans la région du chenal du Nord de la baie Georgienne est au stade de planification et de discussion publique. Le premier réacteur pour les provinces Maritimes est en construction à Pointe Lepreau, N.-B., un unique réacteur d'une capacité de 500 000 kw.

On ne sait pas encore quand cette rapide expansion de l'énergie nucléaire en Ontario sera imitée par les autres provinces. À court terme, Terre-Neuve – Labrador, le Québec et le Manitoba retireront de vastes quantités d'énergie hydro-électrique de projets proposés ou en construction. L'Alberta et la Colombie-Britannique se sont prononcées, pour l'avenir immédiat, en faveur d'usines utilisant le charbon. On prédit pour le Canada une capacité de production d'énergie nucléaire pour quelques décennies à venir, et il est clair que c'est là la source d'énergie vers laquelle toutes les provinces devront se tourner. De telles prédictions doivent également tenir compte d'un usage accru de l'électricité en même temps que diminuent les réserves de combustibles fossiles. Pour remplacer, par exemple, le gaz naturel consommé présentement, par de l'hydrogène produit électriquement, il faudra doubler la capacité de production des installations existantes.

Les réacteurs nucléaires requièrent d'énormes volumes d'eau de refroidissement. La centrale de Pickering pompe un million de gallons par minute, et les écrans de filtration sont des pièges remarquables de poissons, surtout de gaspareaux. Des «prises» quotidiennes de 30–60 pi³ sont communes, 100–200 pi³ se prennent à l'occasion, et le volume peut atteindre 400 pi³. On n'a pas trouvé de moyens d'utiliser ce matériel, et on étudie présentement la façon d'éviter de capturer ces poissons.

Ce changement dans la technologie de la production d'énergie soulève des problèmes, à la fois anciens et nouveaux, de qualité de l'environnement. Le rejet de grandes quantités de chaleur est un problème commun à l'utilisation des combustibles fossiles. Pour le présent du moins, cette perte de chaleur dans un climat aussi froid que celui du Canada n'a pas causé beaucoup de problèmes d'environnement. En outre, on croit de plus en plus que cette chaleur pourra éventuellement avoir de la valeur. À Pointe Lepreau et à Pickering, on est à faire des études en vue de déterminer l'utilité d'une eau ainsi réchauffée en pisciculture. On a fait des études à Baie du Doré (Douglas Point) sur l'effet de températures plus chaudes sur l'achigan à petite bouche, en particulier en ce qui a trait à la fraie et à la croissance.

La préoccupation majeure est la perte de matériel radioactif dans l'environnement aquatique. Naturellement, les réacteurs sont construits de façon à éviter des accidents de ce genre. La façon dont le Candu à eau lourde est construit, en particulier, rend une telle contamination extrêmement improbable. L'eau lourde ne constitue pas un danger en elle-même, mais il se forme de l'eau lourde tritiée au cours du bombardement neutronique à l'intérieur du réacteur. Ce matéirel émet des rayons bêta, pénètre facilement à travers la peau et a une durée d'environ 12 ans. Emery (1972) passe en revue le problème de la contamination radioactive de l'environnement.

Le Canada possède une compétence allant de bonne à excellente dans le contrôle continu de la radioactivité dans son environnement. Le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, l'ÉACL, l'Hydro-Ontario et l'Hydro-Québec sont tous impliqués. Santé nationale et Bien-être social Canada est l'organisme responsable avant tout de la santé publique, l'ÉACL de la détermination des niveaux de base à travers le pays et de la surveillance de ses propres activités, et les hydros provinciaux exercent un contrôle sur une grande superficie autour de leurs installations. Cette surveillance est confiée à un personnel hautement qualifié. La technologie du contrôle a atteint un haut niveau de développement, est facile à calibrer et est répétable. Il n'est probablement pas bon que pratiquement toute la compétence dans ce domaine se trouve aux gouvernements, fédéral et provinciaux. Il en résulte un degré inusité de réticence et moins de vérifications et de critiques que des compétences extra-gouvernementales pourraient offrir, comme c'est le cas dans les autres segments de la société.

Il reste encore certains problèmes associés aux réacteurs nucléaires. Un de ces problèmes est le sort des barres de combustible épuisé qu'on devra accumuler pendant quelques décennies. Ces barres contiennent quelque 250 substances, dont plus de la moitié, y compris le plutonium, sont radioactives. L'idée est de transformer ces «déchets» en combustible utilisable, mais ce matériel est extrêmement difficile à manipuler. À mesure que se développera la technologie du transport et du traitement de ce matériel, il faudra le surveiller très étroitement afin de s'assurer que ces substances dangereuses ne sont pas dispersées dans l'environnement.

Un problème encore plus sérieux touchant les réacteurs à eau légère est la quantité de matériel contenant des oligo-éléments qui s'échappe du réacteur. Cette perte est minimale dans le cas du réacteur Candu et représente une quantité moindre d'oligo-éléments que celle qui se dégage de la combustion du charbon mou. On ne connaît pas suffisamment l'accumulation d'oligo-éléments dans les environnements aquatiques en particulier et dans la biosphère en général. Il est essentiel de connaître le degré auquel ce matériel s'accumule dans les systèmes biologiques et se multiplie en progressant dans la chaîne alimentaire. Dans le cas de P^{32}, par exemple, cette augmentation depuis l'environnement jusqu'au consommateur ultime est d'un million de fois.

Transports

Cette industrie, comprenant les transports routiers, ferroviaires, aériens, maritimes et par pipelines, pose une variété de problèmes pour l'environnement aquatique. Ces problèmes résultent de la perte de produits, du rejet des déchets et des traitements et procédés spéciaux utilisés dans l'industrie.

Maritimes

La préoccupation dominante, pour l'environnement, quant au transport maritime, est la perte de pétrole. Des pétroliers se perdent chaque année par diverses causes, y compris l'erreur humaine. Le *Torrey Canyon*, par exemple, s'est échoué sur les récifs les mieux connus du monde. On ne peut légiférer contre des «accidents» de ce genre. Les amendes et les taux d'assurance, si élevés soient-ils, n'ont pas eu beaucoup d'effet.

Le niveau suivant de préoccupations est la perte de pétrole par les pétroliers qui nettoient leurs soutes en mer. Légalement, ce nettoyage ne peut se faire en dedans de 50 milles des côtes, et le pétrole doit être libéré à un taux prescrit de tant de gallons par mille.

Dans la pratique, ces règlements ne sont pas observés. Comme exemple, un super-pétrolier a rejeté une quantité de pétrole brut estimée à 100 000 gal à quelques milles de la côte de la Floride en août 1975. Ces déversements accidentels, combinés au nettoyage des soutes sont responsables de la présence continue d'une pellicule de pétrole à la surface des principaux ports canadiens.

D'autres produits s'échappent parfois au cours des opérations de chargement et de déchargement ou en mer. Ces accidents reçoivent parfois une publicité considérable, comme ce fut le cas dans la recherche de wagons-citernes remplis de chlore qui s'étaient échappés d'un chaland dans le détroit de Georgie. Peu de cas ont été signalés où des produits autres que le pétrole ont été déversés dans les eaux côtières canadiennes et ont causé des dommages à l'environnement.

On a passé une loi en Ontario forçant les embarcations de plaisance à se munir de réservoirs pour leurs égouts, qui pourront ensuite être pompés et rejetés sur terre. Il n'existe pas de législation parallèle en vigeur pour la moitié américaine des quatre Grands lacs internationaux. Les océaniques qui pénètrent dans les Grands lacs ne sont pas non plus obligés de retenir leurs égouts pour rejet subséquent sur terre ou en mer. Il y a plus de 6 000 passages annuellement sur les Grands lacs. La plupart des cargaisons transportées sur les Grands lacs sont en vrac, constituées surtout de minérais, de charbon, de grains et de chaux; c'est-à-dire, de matériaux relativement non toxiques. L'*Edmund Fitzgerald*, par exemple, coula dans le lac Supérieur le 10 nov. 1975, avec une cargaison de 26 116 grosses tonnes de taconite. On suppose par ailleurs que les 75 000 gal de fuel-oil Bunker C à bord ont été dispersés dans l'environnement. Depuis la crise du pétrole, les expéditions de pétrole sur les Grands lacs ont augmenté et dépassent maintenant 5 millions de tonnes annuellement. La perte d'un pétrolier du tonnage du minéralier *Edmund Fitzgerald* en tout endoit de la voie maritime du Saint-Laurent serait un désastre écologique de première grandeur. On devra continuer de se préoccuper avant tout, dans le transport maritime sur les Grands lacs, de la perte accidentelle de produits chimiques dangereux. Se rappelant les désastres qu'entraîna la perte d'un seul baril d'insecticide sur le Rhin, on a bien raison de s'inquiéter.

Routiers

Les dossiers du SPE contiennent de nombreux rapports quotidiens d'accidents décrivant la contamination de l'environnement par perte de produits. La plupart sont des déversements de pétrole, alors qu'un nombre moindre implique des produits chimiques dangereux. Il existe une bonne législation contrôlant le transport de produits chimiques dangeureux, y compris les types de contenants, mais cela ne peut empêcher un véhicule de quitter la route et de perdre une partie ou la totalité de sa cargaison.

L'application de produits chimiques, celle de chlorure de calcium, d'huile, d'urée, etc., est un problème d'un autre genre. Le sel routier, par exemple, est utilisé en grande quantité dans l'est du Canada et a un effet local considérable. Certains petits lacs de Terre-Neuve voient leur teneur en solides dissous s'élever de 50 ppm en été à 200 ppm en hiver. La teneur des Grands lacs inférieurs en chlorure de sodium a plus que doublé au cours des quelques dernières décennies, et ceci doit être en partie attribuable au sel routier.

Ferroviaires

Les chemins de fer ont toujours adopté l'attitude que leur droit de passage était sacro-saint. Ils n'avaient à rendre de comptes à personne pour ce qu'ils faisaient le long de leurs voies ferrées. Les égouts des trains étaient rejetés directement sur la voie. Que les sociétés de transports par autobus aient adopté la même approche, on les aurait traités comme des lunatiques.

Les déraillements et pertes de matériel qui leur sont associées posent des problèmes plus grands pour l'environnement que les déversements sur les routes. Ceci est dû à la plus grande quantité de matériel, à la tendance à expédier par chemin de fer les matériaux dangereux et souvent à la plus grande difficulté d'accès pour le nettoyage.

Pipe-lines

Les ruptures de pipe-lines ont attiré remarquablement peu d'attention. En Alberta par exemple, il s'en produit à un rythme moyen d'un à deux par jour, et même jusqu'à cinq ou six par jour. Elles sont communément causées par le mouvement des masses de sol. Typiquement, on nettoie ces déversements de pétrole en brulant les déchets liquides et en labourant le sol imbibé de pétrole. Les pertes de gaz naturel peuvent être tout aussi malpropres, les produits de condensation et le soufre s'accumulant au point de rupture. Dans quelques cas, des ruptures de pipe-lines à proximité de l'eau ont contaminé les écosystèmes aquatiques. Il y a peu de rapports de publiés sur les répercussions d'accidents de cette nature. Des déversements de pétrole de 100–1 000 gal, à l'exclusion des ruptures de pipe-lines, se produisent presque quotidiennement. Encore plus troublante est la fréquence de déversements plus importants (tableau 3).

Un autre problème associé est la perte de produits pétroliers dans les eaux souterraines. Plus de 500 puits au Canada sont contaminés de cette façon. Typiquement, ceci résulte d'une fuite dans le réservoir d'une

TABLEAU 3. Quelques exemples de grands déversements de pétrole, première moitié de 1975. (Source : Service de la protection de l'environnement)

	Volume (gal)	Type	Site
19 jan.	10 000	Bunker C	Sunoco, Qué.
10 fév.	50 000	Bunker C	Air Canada, Qué.
7 avr.	18 000	Huile diesel	WPYR, Yukon
14 avr.	19 285	Essence	Imperial, N.-B.
2 mai.	1 000	Essence	WPYR, Yukon
3 mai.	8 000	Pétrol de coupe	Barton Tubes, Ont.
3 mai.	1 025	Essence	Imperial, N.-B.
8 mai.	1 500	Huile diesel	Golden Eagle, T.-N.
11 mai.	16 000	Huile à fournaise	Ouimet Gobeil, Qué.
22 mai.	10 000	Bunker C	Hôp. Mt-Sinaï, Qué.
5 juin.	30 000	Huile diesel	Mine Cantung, T.N.-O.
3 juil.	3 000	Bunker C	CNR, N.-B.

station de service ou d'un réservoir de pétrole à fournaise. Une telle contamination a une durée de vie relativement longue et a été l'objet de peu d'études. La méthode courante de rejet de «déchets» de pétrole est de le déverser sur le terrain. Ceci peut contribuer à la contamination des eaux souterraines dans certaines régions.

Les produits pétroliers présents dans l'eau peuvent contaminer les poissons au point de les rendre impropres à la consommation humaine. Le problème se pose, par exemple, pour les mulets provenant de certaines parties de la baie de Moreton, Queensland, Australie. On n'a jamais pu trouver la source précise de cette contamination. Elle peut résulter de la somme totale de tous les déchets pétroliers déversés dans la rivière Brisbane. C'est-à-dire, l'huile des rues, les déchets des stations de service, les eaux usées de lavage d'automobiles, etc. Il s'est produit quelques cas de goût de «phénol» dans des poissons provenant de lacs intérieurs. Le lac Winnipeg serait spécialement susceptible à cela. Certaines pêches sportives en ont été également affectées, comme dans le cas de la rivière Bow en aval de Calgary, et de la rivière Saskatchewan-Nord. Les eaux d'égout pluvial peuvent être responsables d'une portion significative de cette pollution.

Récréation

La récréation est l'une des activités faisant les plus grands usages de l'environnement aquatique au Canada. Généralement parlant, la récréation exige un environnement de haute qualité, soit non altéré par les activités humaines. Les gens désirent une eau claire et contenant peu d'organismes pathogènes pour boire, se baigner, voyager, plonger et pêcher. Parce que la récréation exige un environnement de haute qualité, elle tend à être en conflit avec presque tous les autres usages de l'environnement. Par exemple, le long du versant oriental des Rocheuses, les cours d'eau sont des centres naturels de récréation estivale. Les autres usages qui lui font concurrence et qui sont parfois mutuellement exclusifs dans cette région sont: excavation de mines de charbon, exploration pour le pétrole et le gaz, exploitation des bois et forêts, élevage du bétail, demandes en eau d'irrigation et pâturages.

NATURE DE LA RÉCRÉATION

On ne peut définir en termes simples l'éventail complet des activités récréatives. Les composantes varient entre individus, et les bénéfices ou les plaisirs que chacun en retire ne sont pas les mêmes pour tous. Plusieurs questionnaires ont été conçus dans le but d'établir ce que les gens désirent pour leur récréation. Par exemple, les questionnaires remplis par des pêcheurs sportifs indiquent que l'acte lui-même de capture d'un poisson est bien bas dans la liste des priorités, si bien que la pêche est presque l'activité de ne pas prendre de poissons. En tête de la liste de raisons ou de bénéfices en rapport avec la pêche sont: évasion de l'affluence urbaine, solitude, paix et tranquilité, air frais, etc.

Si tel est le cas, il faut donc envisager la qualité de l'environnement aquatique pour la récréation du point de vue de la personne qui recherche cette récréation. Par exemple, quand le premier chalet est construit sur le bord d'un lac, le propriétaire réalise la plupart ou la totalité des objectifs qu'il recherchait dans cette expérience récréative. Quand le deuxième chalet se construit, la solitude est perdue, et il y a graduellement moins de solitude à mesure que chaque chalet suivant se construit. Il y a bientôt conflit entre l'entrepreneur et le résident. L'entrepreneur cherche à maximiser la densité des chalets, de là ses profits sur son investissement, alors que les résidents cherchent à maximiser leurs bénéfices en minimisant le peuplement. Les autorités municipales tendent à être davantage intéressées à l'augmentation des revenus en taxes

résultant du développement et aux opinions des résidents permanents qui votent localement, plutôt qu'à celles des propriétaires de chalets qui ne votent pas. Comme résultat, un lac tend à devenir entouré de chalets, atteignant souvent une densité qui compromet ou qui détruit les valeurs récréatives qui avaient en premier lieu attiré les gens. L'expression ultime de cette tendance est la haute densité de chalets qui se construisent en retrait du lac et/ou la construction de tours de logements sur la rive du lac. La vie dans un tel endroit de villégiature peut être une malédiction pour celui qui jouit d'une vue du lac de son chalet, mais pour celui qui ne possède pas encore de chalet, ces «solutions» de haute densité sont préférables à pas de chalut du tout. Il y a présentement au Canada 395 195 ménages possédant un ou plusieurs chalets (Statistiques Canada).

Répercussion sur l'environnement

Les activités récréatives affectent l'environnement aquatique de plusieurs façons. Certaines activités n'ont en elles-mêmes que peu d'effet. Ce sont: promenade en canot, voile, photographie, plongée, natation et étude de la nature. En partie par définition, ces activités sont celles qui tendent à ne pas gâcher la récréation des autres. Certaines activités récréatives sont compétitives, telles que la pêche sportive, en ce sens que le succès d'une personne peut diminuer le succès d'une autre. Il y a une troisième catégorie d'activités récréatives exigeant davantage de l'environnement, qui, pour diverses raisons, peuvent réduire la qualité de la récréation pour d'autres. Ces activités comprennent la course en canot automobile, le ski nautique, la motoneige, la chasse du gibier aquatique, etc. Les dommages physiques réels que ces activités causent à l'environnement peuvent être minimes. On a fait plusieurs études sur la pollution des lacs par le pétrole des moteurs hors-bord, et aucun effet n'a ordinairement pu être détecté. La motoneige a eu pour effet d'agrandir considérablement le territoire accessible à la récréation d'hiver. Comme résultat de cette nouvelle mobilité en hiver, il se fait un plus grande usage de la ressource, en particulier par la pêche sous la glace. L'observation de R. Ryder d'un groupe de pêcheurs sportifs retirant d'un lac (accessible par motoneige) en une seule journée la production de 2 ans en touladis est de nature à nous alarmer.

Il nous faut en arriver à une meilleure compréhension des jugements de valeurs sur lesquels les gens fondent leur choix d'un récréation aquatique. Il y eut plusiers bonnes tentatives de faites d'exprimer en dollars la valeur de la pêche récréative, par exemple (Sewell et Rostron 1970; Pearse et Laub 1971; British Columbia Fish Wildlife Branch 1971). Il serait utile maintenant que des spécialistes en sciences sociales analysent la récréation, identifiant et quantifiant l'expérience en termes autres qu'en dollars.

Une autre mesure qu'il vaudrait mieux laisser à ces spécialistes est celle du succès de pêche nécessaire au maintien de ce passe-temps. Cela diffère évidemment entre les individus, chez une même personne avec le temps et en fonction de la «valeur» de l'espèce recherchée. Présentement, on mesure la qualité de la pêche sportive en partie suivant les espèces et les quantités de poissons capturés. Les personnes qui ont la responsabilité de procurer cette récréation ont très peu pour les guider quant à la quantité qui est raisonnable, adéquate ou luxueuse. Il serait tout au moins utile, devant un développement sans cesse croissant de chalets, de pouvoir conseiller les gens sur les niveaux minimums et maximums de succès de pêche auquel ils peuvent s'attendre à un niveau donné de développement.

Densité des chalets

La construction et l'utilisation d'accomodations et autres facilités sur les rives d'un lac sont les activités qui affectent le plus l'environnement. Un scénario typique comprend d'abord le défrichement du site de construction et souvent au-delà du site. Vient ensuite un système d'égout quelconque; au pire, le rejet direct dans le lac ou au mieux, le reject sur le terrain ou dans des réservoirs pour pompage subséquent. L'étape suivante est la construction d'un débarcadère avec la modification de l'habitat côtier qu'elle nécessite. Parce qu'on veut se baigner à proximité du rivage, il faut que la végétation aquatique soit reclassée comme «mauvaises herbes» et enlevée. Pour créer une plage, il faut déverser du sable sur le substrat le plus productif. Si «nécessaire», les terres humides sont drainées et les fosses remplies. L'opération se répète avec chaque construction de chalet. Peu après, commence la deuxième phase: la phase «Le lac n'est plus ce qu'il avait l'habitude d'être». Les huarts, les hérons et les étourneaux se font rares; la pêche du brochet et de l'achigan se détériore. Les propriétaires de chalets se refusent à associer leurs activités à la destruction de l'environnement aquatique et à la diminution de ces espèces. On suppose que tous et chacun peuvent faire disparaître l'habitat herbeux de l'achigan et drainer les frayères du brochet sans que ces populations en soient affectées. Dans le jargon populaire, la pêche a simplement vidé ces lacs.

La phase de croissance ou d'expansion dans la construction des chalets se poursuit toujours. En Ontario, par exemple, le ministère du Trésor, de l'Economique et des Affaires intergouvernementales doit considérer quelque 11 000 demandes individuelles annuellement pour la libération de lots de construction de chalets. De plus, il y a le type de requêtes de la part d'entrepreneurs pour la construction de chalets sur de plus grandes étendues de terrain. Durant cette

période de développement, il reste bien des problèmes à résoudre. Par exemple, les officiers provinciaux et municipaux n'ont pas de modèles simples, orientés vers la gestion, leur permettant de prédire la détérioration de l'environnement sur une gamme d'intensité de développement. On a fait un premier pas dans ce sens (Hough Stanbury and Associates 1972; Lakeshore Capacity Study 1974).

Les planificateurs et les gardiens de la qualité de l'environnement pourraient utiliser avec profit un modèle devrait être très fiable, et permettre une relation avec le développement de chalets. Un tel modéle devrait être très fiable, et permettre une prédiction précise, pouvant être défendue devant les tribunaux. C'est-à-dire que si l'on se servait d'un tel modèle pour fixer une limite au nombre de chalets sur un lac, ce modèle serait immédiatement contesté en disant: «Démontrez que l'environnement aquatique ne peut tolérer pas même un chalet additionnel.» On a maintenant suffisamment d'information pour construire de tels modèles de première génération, et quelques-uns ont déjà fait leur apparition.

Ces modèles sont fondés sur la relation entre la chlorophylle, et l'azote et le phosphore. Sawyer (1974) a démontré qu'il n'y aurait pas de croissance algale excessive si l'on empêchait ces éléments nutritifs d'atteindre des niveaux critiques définis. Sur graphique logarithmique, Sakamoto (1966) présente une relation linéaire entre le phosphore total au printemps et les concentrations de chlorophylle en été. Vollenweider (1968) a élaboré un modèle fondé sur la charge de phosphore et la profondeur moyenne de l'eau permettant de déterminer l'état trophique d'un lac. Ceci a été suivi (Vollenweider 1969) d'un modèle permettant de corriger en fonction du taux de vidage et de la sédimentation. Dillon (1974) a calculé les apports d'éléments nutritifs provenant d'une série de bassins hydrographiques de lacs, et Dillon et Kirchner (1975) y ont apporté des corrections tenant compte du massif forestier vs forêts plus pâturages.

À trois reprises au moins, on a tenté d'appliquer des variations de ces approches à la prédiction de la capacité des lacs à supporter des chalets. Michalski et Conroy (1972) ont établi un système de classification de lacs selon la qualité de l'eau, y compris les attributs importants pour les poissons. Shannon et Brezonik. (1972) ont déterminé les charges critiques et permissibles de phosphore pour plusieurs lacs de la Floride. Il est possible que ces valeurs soient trop élevées pour les lacs canadiens. Hutchinson et al. (1973) suggèrent une approche à la modélisation des éléments nutritifs, et partant, de l'état trophique, en relation avec le développement de chalets. Dillon et Rigler (1975) présentent un modèle comparant la charge en éléments nutritifs avec quatre gammes arbitraires de concentration de chlorophylle. Ceci permettrait au planificateur ou au gestionnaire de classer un lac et ensuite d'y ajouter des chalets jusqu'à ce que la charge nutritive menace de faire passer le lac dans la catégorie trophique suivante. La faiblesse cardinale de tous ces modèles est qu'il faille donner une réponse arbitraire, oui ou non (construire plus de chalets ou n'en pas construire) tout au long d'un spectre continu de charge en éléments nutritifs. L'arbitraire de telles décisions laisse à désirer, car il est difficile au gardien de la qualité de l'environnement de défendre sa décision et le modèle peut être inutile devant les tribunaux.

On comprend encore mal quelle quantité d'éléments nutritifs est transmise au lac par les systèmes d'égout. Les estimés varient de tout à rien. Les terrains septiques reposant sur le socle rocheux n'ont que peu d'effet, même à retarder l'écoulement d'éléments nutritifs vers un lac avoisinant. Les sols profonds, par exemple au camp principal des lacs de la RLE, semblent retenir tous les éléments nutritifs. Ici encore, un modèle, même complexe, aiderait à déterminer l'emplacement des chalets de façon à minimiser l'écoulement d'azote et de phosphore vers le lac.

Finalement, il faut songer à l'avenir, une décennie et plus. Une récréation aquatique requiert souvent beaucoup d'énergie, de fortes quantités de pétrole étant consommées pour les voyages d'aller et retour aux sites, le chauffage d'une résidence supplémentaire, et pour l'opération de canots automobiles et de motoneige une fois au site de récréation. Qu'adviendra-t-il d'une telle récréation dans une nature sauvage quand le pétrole deviendra trop rare ou trop dispendieux pour servir à cette fin? Bref, quel est le rôle de l'environnement aquatique dans la récréation à procurer à une société conservatrice?

Conclusions

1. En dépit du clair désaveu, par Bruce et Maasland (1968), du concept d'eaux douces illimitées, les attitudes et politiques canadiennes continuent de surestimer à la fois la quantité et la qualité de cette ressource au Canada. Nous avons dû résister à la tentation d'intituler le rapport, selon les mots de F. E. J. Fry: «La grande erreur canadienne — la moitié des eaux douces du monde.»

2. Les problèmes de qualité de l'eau à travers le pays sont hautement régionaux. Les prises de position diverses des gouvernements provinciaux compliquent les choses davantage. Les attitudes des provinces varient, par exemple, selon qu'elles possèdent des sources, comme la Colombie-Britannique ou l'Alberta, ou des terres basses, comme le Manitoba. Dans le premier cas, elles ne ressentent que peu de besoin pour une présence fédérale; dans le second, seul le gouvernement fédéral peut les protéger contre les eaux polluées provenant de l'est, de l'ouest et du sud.

3. Le contrôle de la pollution par les organismes tant fédéraux que provinciaux a porté en grande

partie sur la contamination ponctuelle de l'eau. Sauf dans de rares exceptions, le contrôle continu et le fondement de recherches sont adéquats. Dans certains domaines, l'effort peut même être excessif. Par contraste, les sources non ponctuelles de détérioration de l'environnement aquatique n'ont pas été suffisamment étudiées et sont encore moins soumises à une surveillance adéquate.

4. La capacité de recherche varie considérablement d'une sous-discipline à l'autre. Là où de fortes écoles sont apparues, comme dans le cas de la physiologie des poissons, il y a surabondance d'experts à travers le pays; il en est de même là où il y a eu effort fédéral majeur, comme dans le cas du contrôle de la qualité chimique de l'eau. En même temps, il y a de sérieuses faiblesses dans plusieurs domaines. Le modeste corps de compétences est insuffisant pour l'interprétation des données sur la qualité de l'eau. On utilise remarquablement peu des espèces-indicateurs pour définir la qualité de l'environnement; les compétences sont rares et la base de recherches peu étendue.

5. Il y a rareté remarquable d'innovation dans les travaux de recherche sur les environnements d'eau douce. La littérature abonde en modèles mathématiques et en indices développés à l'extérieur du Canada. Peu d'approches nouvelles, soit dans la technique, l'économie d'effort ou l'interprétation, ont été découvertes au Canada. Trois disciplines dominent les travaux sur l'environnement aquatique : débit de l'eau, chimie de l'eau et physiologie/toxicologie des poissons. Ceci provient des disciplines des chercheurs (génie, chimie, biologie) et est consacré dans les mandats des principaux organismes (Direction générale des eaux intérieures; Service de la gestion des pêches). Un simple comité intradépartemental à Environnement Canada ne peut combler ces gouffres paradigmatiques et administratifs.

6. Comparée à celle du gouvernement fédéral, la recherche effectuée par le secteur universitaire est maintenant modeste et le devient de plus en plus. L'appui financier aux universités, par l'intermédiaire du Conseil national de recherches du Canada, a été gelé en 1969, et l'inflation en a par la suite diminué la valeur de plus de 40%. Un montant relativement faible des dépenses du CNR, peut-être un cinquième de 1%, est accordé en 18 octrois en aide à la recherche sur la qualité de l'environnement aquatique. Le Service des pêches et des sciences de la mer verse en octrois un tiers de million, et la Direction générale des eaux intérieures un million de dollars annuellement, et une partie de ces argents est consacrée à la recherche sur la qualité de l'environnement aquatique. C'est ce modeste appui financier qui détermine en grande partie l'efficacité du secteur universitaire à contribuer une recherche et du personnel entraîné dans le domaine de l'environnement aquatique.

7. Des initiatives gouvernementales spécifiques ont énormément aidé à identifier et à rationaliser les problèmes régionaux de l'environnement. Parmi les plus notables sont les études transdisciplinaires de bassins hydrographiques, effectuées selon des ententes fédérales-provinciales et grâce à l'initiative de la Direction générale des eaux intérieures. En général, des études de cette envergure ont des objectifs importants, sont bien planifiées, ont une claire direction opérationnelle et sont adéquatement financées. Il est plus difficile de définir et d'évaluer le rôle de la science à petite échelle ou artisanale dans la réalisation de grands objectifs pour l'environnement; mais cela seul n'est pas une raison pour qu'on l'abandonne.

8. Le gouvernement fédéral et la plupart des provinces ont suivi chacun une voie séparé en ce qui a trait à la méthodologie des analyses d'eau et au stockage des données qui s'y rapportent, ce qui est tragique. Les divers systèmes sont en grande partie incompatibles. Le Centre canadien des eaux intérieures a pris sur lui d'évaluer les méthodes chimiques en usage à travers le pays, de sorte qu'il soit au moins possible de comparer les données.

9. Bruce et Maasland (1968) reconnaissent le besoin d'un périodique scientifique canadien traitant de tous les aspects de l'eau. Le *Journal des recherches sur les pêcheries du Canada* est le périodique le plus apte à satisfaire ce besoin.

10. Le service de bibliothèques, tant à Environnement Canada que pour la science en général, est excellent. Les chercheurs reçoivent un appui extraordinaire de la part de CAN-OLE et de WATDOC dans leurs recherches de l'information.

11. On devrait se rappeler que le grand effort et les montants qu'il nous faut maintenant consacrer à la protection de l'environnement aquatique sont le résultat d'une croissance démophorique (telle que définie par Vallentyne 1972). On consacre relativement peu d'effort à la recherche sur la racine du mal. De plus, les ressources consacrées à la protection ne contribuent pas nécessairement au rehaussement des espèces ou de l'environnement à protéger. Il serait relativement facile de consacrer toutes les ressources financières et humaines à la protection aux dépens de la compréhension et de la satisfaction des besoins alimentaires des peuplades indigènes, du rehaussement du saumon de l'Atlantique et du Pacifique, de la recherche sur la culture des pétoncles et du homard, etc.

Recommandations

Contrôle continu

1. Le besoin ne porte pas tant sur les ressources financières et humaines pour protéger l'environne-

ment que sur un usage plus rationnel et plus efficace des ressources existantes. On peut y arriver de plusieurs manières, plus particulièrement en diminuant la duplication de l'effort fédéral-provincial; en diminuant la duplication au sein du gouvernement fédéral; en diminuant la réticence sur les données et partant, la répétition de l'effort par les organismes; en diminuant les luttes mortelles entre organismes s'occupant de l'environnement; en faisant un examen critique des dépenses consacrées à la recherche, aux voyages et à la marche des bureaux. Trop souvent, on considère les contraintes à l'intérieur d'un service gouvernemental comme étant de nature financière et/ou relative à la main d'oeuvre, alors que le problème est moral, législatif, territorial ou administratif.

2. L'effort total consacré à la surveillance de la pollution de l'environnement aquatique n'est pas bien équilibré. Dans le domaine d'une contamination de source ponctuelle, l'effort courant varie d'adéquat à excessif. Les sources diffuses de pollution ont été en grande partie négligées, et il faudrait y consacrer un effort plus grand.

3. Il existe toujours beaucoup de duplication dans l'effort fédéral et provincial, surtout dans le domaine de la surveillance de la pollution. Une plus grande partie de cette responsabilité devrait être confiée aux provinces, et l'effort fédéral réorienté.

4. Sur la première ligne de défense contre une crise comme celle du mercure se trouve la Direction de l'inspection du poisson. Les données recueillies et l'interprétation qu'on en fait sont entourées du plus grand secret. Dans les deux cas, l'ouverture ne pourrait que rendre la surveillance plus efficace. Il en résulterait de plus moins de duplication de cet effort de la part d'autres organismes qui ont besoin des mêmes données.

5. L'effort consacré au contrôle continu de la chimie de l'eau et à la physiologie/toxicologie des poissons est disproportionnellement grand, et on pourrait le réduire. L'effort consacré aux approches de l'écosystème est faible et devrait être augmenté.

6. Un effort considérable est consacré à la collecte de données qui ne sont pas entièrement analysées ou utilisées. L'interprétation des données sur la chimie de l'eau est particulièrement faible et devrait recevoir une plus haute priorité.

7. Un effort excessif est appliqué au développement de nouvelles méthodes standards d'analyses chimiques. Les laboratoires fédéraux et plusieurs laboratoires provinciaux ont préparé leurs propres manuels. L'énergie de chimistes individuels semble être à l'origine, en partie du moins, de ce besoin de développer de nouvelles méthodes. Dans la cueillette des données routinières, la publication se limite largement à la nouvelle méthodologie. Une partie de cette énergie créatrice des chimistes de l'eau devrait être dirigée vers l'interprétation des données.

8. Les organismes fédéraux et provinciaux ont adopté leur propre base de données, et il est difficile pour cela de partager les données et l'interprétation. À long terme, on devrait s'efforcer de minimiser le nombre de bases en usage.

9. Il faudrait examiner de plus près la surveillance à long terme de problèmes spécifiques de pollution. Une partie de cette surveillance devrait être dirigée vers ce qui est présentement des non-problèmes qui ne sont pas susceptibles de devenir des problèmes.

Recherche

En général — 1. Il y a un besoin d'appliquer l'écologie systémique à la gestion de la qualité de l'environnement, l'impact de l'homme étant évalué pour l'écosystème entier.

2. Il y a un besoin de consacrer plus d'effort à la recherche sur l'utilité d'espèces et de communautés comme indicateurs de la qualité de l'environnement aquatique.

3. Il y a un besoin de stratégies visant à diminuer le volume d'analyses à la fois dans la surveillance routinière de l'eau et dans le contrôle de la pollution.

4. Il y a un besoin d'innovation dans le contrôle continu de l'environnement.

5. Il y a un besoin de recherche au Canada sur les approches et les techniques d'analyse des données.

6. La contribution du secteur universitaire à la recherche sur la qualité de l'environnement aquatique est faible. Les octrois accordés par le Conseil national de recherches du Canada et le système qui lui est associé de revue par les pairs académiques permettent d'utiliser le plus efficacement possible les fonds limités mis à la disposition de la recherche scientifique en général. Cependant, la recherche sur des problèmes spécifiques de l'environnement devra être financée par une autre voie. La recherche universitaire présentement financée par le ministère de l'Environnement est limitée. En considérant les besoins en recherche sur l'environnement, il faudra faire le revue du rôle des universités. Ceci devrait être fait par un comité dont la plupart des membres seraient recrutés à l'extérieur d'Environnement Canada.

7. Les chercheurs sur les divers aspects du contrôle continu de l'environnement, tel que les pêches, la qualité chimique de l'eau et la quantité d'eau, ont remarquablement peu de contacts les uns avec les autres et n'échangent que très peu de données. On devrait s'efforcer de combler ces vides, par exemple, par le biais d'échanges de chercheurs travaillant à des paliers divers allant de l'interprétation des données à l'évaluation des politiques.

8. On devrait poursuivre et élargir la série d'études en cours sur les bassins hydrographiques que dirige la Direction générale des eaux intérieures.

L'approche dont on s'est servi pourrait fort bien être le modèle d'autres grandes études interdisciplinaires sur l'environnement.

9. Vieux de 5 ans seulement, Environnement Canada est encore un très jeune ministère. Les individus ont encore des racines dans les anciens organismes (Pêches, Forêts, Énergie, Mines et Ressources, Service de météorologie, etc.). Plusieurs unités, abritées qu'elles sont dans des édifices séparés et éloignés les uns des autres, demeurent isolées. Il faudra un effort spécial pour amener le personnel des divers groupes à étudier ensemble les problèmes qui se rencontrent aux points de contact entre deux organismes ou plus. Un exemple d'un problème de ce genre serait l'effet sur les lacs de l'Ontario des polluants atmosphériques provenant de la région de Détroit–Chicago–Cleveland–Toronto. Le modèle suggéré est une entente négociée quant au coût et au travail et impliquant les secteurs fédéral, provincial, privé et universitaire. De plus, ce qui est très important, le projet a un objectif identifiable, un commencement et une fin.

10. Il n'est pas trop tôt pour commencer à identifier le rôle de l'environnement aquatique dans le concept d'une «société de conservateurs», tel que développé par le Conseil des sciences du Canada (1973).

Par secteur économique — 1. Les égouts municipaux de 23 millions d'individus sont le plus grand problème touchant l'environnement au Canada. Les égouts municipaux renferment une grande partie des eaux usées industrielles du pays, car plusieurs industries, grandes et petites, rejettent ces eaux dans les égouts municipaux. La technologie du traitement de ces égouts n'a pas changé beaucoup au cours des 60 ans qui se sont écoulés depuis l'introduction du procédé des boues activées. (a) Il y a un besoin de recherche sur le sort des substances toxiques dans les égouts municipaux, y compris métaux lourds, insecticides, biphenols polycholorés et particules portant des bactéries et des virus. Une telle recherche est également pertinente au rejet des égouts sur terre et dans l'eau. (b) Il y a un besoin de recherche sur le sort des métaux lourds, des virus et des bactéries dans les cas où les boues et/ou l'effluent sont utilisés pour l'irrigation des cultures. (c) Il y a un besoin de recherche sur le niveau de traitement d'égouts requis pour la protection de la qualité des coquillages et peut-être aussi des poissons. (d) Il y a un besoin de recherche sur des systèmes alternatifs de traitement des égouts dans les régions septentrionales, plus froides, du Canada.

2. Avec la récréation, il se présente deux problèmes jumeaux : la nécessité d'une haute qualité pour la récréation aquatique d'une part, et le fait qu'elle contribue à détruire cette qualité d'autre part. (a) Il y a un besoin d'un modèle prévisionnel établissant une relation entre l'intensité de l'usage qu'on fait du lac et la qualité de l'eau du lac. (b) Il y a toujours un besoin d'un modèle prévisionnel spécifique de la perte des éléments nutritifs d'un champ septique dans l'environnement aquatique. (c) Il y a un besoin d'une meilleure compréhension de la nature de la récréation aquatique. C'est-à-dire, quels sont les principaux jugements de valeurs de la population dans le choix de leur récréation, et à quel point la qualité de l'eau entre-t-elle en ligne de compte dans leur pensée.

3. Les demandes en énergie sous toutes ses formes continuent d'avoir une forte répercussion sur l'environnement aquatique. (a) Les réacteurs nucléaires peuvent en grande partie satisfaire à la demande future en énergie électrique. Les besoins en recherche incluent la perte de matériel radioactif dans les écosystèmes aquatiques, l'impact de la chaleur perdue, l'utilisation de cette chaleur en pisciculture, etc. (b) En dépit de ce changement éventuel, le besoin existe toujours de poursuivre les études en cours sur la retenue des eaux et sur les inondations. (c) Les génératrices actionnées par combustibles fossiles créent les problèmes additionnels des gaz d'échappement et des oligo-éléments déversés dans l'atmosphère et retransmis au sol et aux eaux de surface. (d) Il faudra consacrer un certain effort à la recherche et à la surveillance, par exemple, quand les usines de pétrole des sables bitumineux entreront en opération, avec leurs fortes émissions de bioxyde de soufre.

4. L'agriculture requiert de grandes quantités d'eau et détruit la qualité de l'environnement aquatique. (a) Les engrais chimiques utilisés en agriculture peuvent avoir une grande répercussion sur la qualité de l'eau. Il y a un besoin de recherche sur une technologie qui minimiserait le lessivage de ces éléments nutritifs. (d) L'agriculture utilise une grande variété de substances chimiques comme agents de contrôle, dont plusieurs pénètrent dans l'écosystème des eaux douces. On devrait toujours chercher des alternatives à certains agents encore en usage. (c) L'érosion des sols par l'agriculture, surtout la culture de la pomme de terre, est sérieuse, et on a besoin d'une recherche sur des techniques visant à minimiser ce phénomène. (d) Les pâturages à proximité des cours d'eau nuisent à la qualité de l'eau, et la destruction mécanique de l'habitat par le bétail peut être considérable. La répercussion de tels pâturages a besoin d'être surveillée et/ou étudiée. (e) L'irrigation a pour effet d'augmenter la quantité de sels minéraux en solution dans les eaux souterraines et superficielles. Il nous faut connaître davantage l'étendue de ce phénomène et ses effets sur l'écosystème d'eau douce. (f) Le drainage des terres humides se poursuit dans les régions agricoles sans qu'on comprenne trop la répercussion totale de cette activité. Il y a un besoin de recherche sur la façon dont elle affecte le gibier aquatique, la régénération de la nappe aquifère, les

changements microclimatiques, le débit des cours d'eau et bien d'autres aspects.

5. L'exploitation forestière contribue toujours à la destruction de l'environnement aquatique. (a) Il y a un besoin d'évaluer l'impact de l'exploitation des bois et forêts sur la production des cours d'eau pour la pêche des salmonidés. (b) On connait très peu de l'effet de l'exploitation forestière sur le lessivage des éléments nutritifs des sols. (c) On utilise encore des barrages pour le flottage des billots dans certains parties du Canada, et on comprend mal l'impact de ces structures. (d) Les insecticides forestiers se sont avérés très dommageables aux écosystèmes aquatiques. Les agents les plus destructeurs ne sont plus en usage, mais chaque nouvelle substance requiert un volume considérable de recherches avant d'être acceptée. (e) À la suite d'une recherche effectuée au Canada, on a conçu une usine de pâtes et de papier en circuit entièrement clos — une usine sans effluent d'eaux usées. On devrait continuer d'encourager la recherche sur ce genre d'innovations technologiques. (f) Le mercure s'est avéré le matériel le plus horrible qu'utilise l'industrie. Les pertes par les usines sont encore faibles, mais on devrait continuer d'étudier le mouvement du mercure à travers l'écosystème. (g) Certaines pêches sont maintenant interdites à cause des hautes teneurs en mercure des tissus animaux. Il vaudrait la peine de faire des recherches en vue de déterminer si la teneur en mercure du muscle des thons ou de l'espadon pourrait être abaissée à un niveau acceptable lors de la transformation.

6. L'industrie minière a une répercussion fort variée sur la qualité de l'environnement aquatique, ce qui nécessite des recherches dans divers domaines. (a) Il faut poursuivre la recherche sur les effets des eaux usées minières, surtout sur les organismes aquatiques. (b) Le rejet des déchets miniers dans l'eau devient moins commun, et cette recherche pourra être bientôt réduite. (c) Les polluants atmosphériques provenant des fonderies ont eu un effet marqué sur les écosystèmes aquatiques, à la fois sous la forme de précipitation acide et par déposition de métaux lourds. La recherche doit se poursuivre, surtout à cause de l'envergure du problème. (d) Il faudrait consacrer un effort majeur à la recherche sur la technologie de la récupération du bioxyde de soufre et des métaux lourds par les fonderies qui n'ont pas encore adopté une technologie de non-pollution.

Remerciements

Au début, le Comité de la qualité de l'environnement aquatique était constitué de M. D. A. Chant (président) et de MM. G. H. Geen et R. R. Logie. Ce groupe fut ensuite remplacé par M. L. Berlinguet (président) et par MM. R. D. Connor et B. McMillan. Enfin, alors que les études documentaires tiraient à leur fin, on ajouta cinq autres membres au Comité, MM. I. K. Fox, R. R. Logie, K. H. Mann, L. Rousseau et J. B. Sprague. Ces personnes firent la revue du manuscrit de cette publication lors de la préparation de leurs recommandations à l'Office des recherches sur les pêcheries. Les commentaires des huit personnes du Comité élargi ont été incorporés en tout ou en partie dans le manuscrit final de ce rapport. L'auteur exprime sa reconnaissance au Comité pour les nombreux conseils qu'il lui a donnés.

Références

ADAMSKI, J., AND M. F. P. MICHALSKI. 1975. Reclamation of acidified lakes Middle and Lohi; Sudbury, Ontario. Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 1971 1983.

ADIRONDACK LEAGUE CLUB. 1971. Fish management report for 1971. 23 p.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. 1969. Cleaning our environment the chemical basis for action. 249 p.

ANDREW, F. J., AND G. H. GREEN. 1960. Sockeye and pink salmon production in relation to proposed dams in the Fraser River system. Int. Pac. Salmon. Fish. Comm. Bull. 11: 259 p.

ANON. 1972. Air pollution across national boundaries. The impact on the environment of sulfar in air and precipitation. Conf. Human Environ., Stockholm, Sweden. The Swedish Secretariat. 96 p.

1973a. Blue water, green water, Part I. Limnos Vol. 5 (2): 2 10.

1973b. Blue water, green water, Part II. Limnos Vol. 5 (4): 2 14.

BEAMISH, J. 1974. Loss of fish populations from unexpolited remote lakes in Ontario, Canada as a consequence of atmospheric fallout of acid. Water Res. 8: 85 95.

BEAMISH, R. J. AND H. H. HARVEY. 1972. Acidification of the La Cloche Mountain Lakes, Ontario, and resulting fish mortalities. J. Fish. Res. Board Can. 29: 1131 1143.

BEAMISH, R. J., W. L. LOCKHART, J. C. VAN LOON, AND H. H. HARVEY. 1975. Long-term acidification of a lake and resulting effects on fishes. Ambio 4: 98 102.

BORMANN, F. H., G. E. LIKENS, D. W. FISHER, AND R. S. PIERCE. 1968. Nutrient loss accelerated by clear-cutting of a forest ecosystem. Science 159: 882 884.

BRITISH COLUMBIA FISH WILDLIFE BRANCH. 1971. The value of fresh water sport fishing in British Columbia. Stud. Rep. 5: 60 p.

BROWN, C. B. 1968. Effects of land use and treatment on pollution. U.S. Dep. Health, Educ. Welfare. Publ. Health Serv. Publ. 819: 209 218.

BRUCE, J. P., AND D. E. L. MAASLAND. 1968. Water resources research in Canada. Sci. Secr., Privy Counc. Off. Spec. Rep. 5: 105 p.

CANADA WATER RESOURCE BRANCH. 1974. Dictionary of the national water quality data bank (NANQUADAT). Water Resour. Pap. 144 p.

CARR, D. E. 1966. Death of the sweet waters. W. W. Norton & Company, Inc., New York, N.Y. 257 p.

CARSON, W. V. 1974. Chemical conditions in the northwest Miramichi River during 1973. Fish. Res. Board Can. MS. Rep. 1323: 6 p. 19 tables.

CARTER, L. J. 1974. Pollution and public health: Taconite case poses major test. Science 186: 31-35.

CASS-BEGGS. D. 1961. Water as a basic resource. Resources for tomorrow. Conf. Background Pap. 1: 173-189.

CHAU. Y. K. 1973. Complexing capacity of natural water — its significance and measurement. Abstract of paper presented at the ACS Symposium. J. Chromatogr. Sci. 11: 579.

CLARKE. R. McV. 1974. The effects of effluents from metal mines on aquatic-ecosystems in Canada. Tech. Rep. 488: 150 p.

COOK. R. H., AND R. P. CÔTÉ. 1972. The influence of humic acids on the toxicity of copper and zinc to juvenile Atlantic salmon as derived by the toxic unit concept. Dep. Environ. Environ. Prot. Serv. MS. Rep. 72(5): 23 p.

COOK. R. H., AND R. A. W. HOOS. 1971. Base metal mine water pollution on the Nepisiguit River, New Brunswick. Dep. Fish. For., Resour. Dev. Branch. 27 p.

COOK, R. H., A. W. HOOS, AND R. P CÔTÉ. 1971. The toxicity of copper and zinc to Atlantic salmon; laboratory and field evaluations with special emphasis on high water hardness concentrations. Dep. Environ. Resour. Dev. Branch MS Rep. 71(16): 88 p.

COSTESCU. L. M., AND T. C. HUTCHINSON. 1972. The ecological consequences of soil pollution by metallic dust from the Sudbury smelters. p. 540 545. *Dans* Proc. Instit. Environ. Stud. New York, N.Y.

DILLON. P. J. 1974. The application of the phosphorus loading concept to eutrophication research. Natl. Res. Counc. Assoc. Comm. Sci. Criteria Environ. Qual. 42 p.

DILLON. P. J., AND W. B. KIRCHNER. 1975. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds. Water Res. 9: 135 148.

DILLON. P. J., AND F. H. RIGLER. 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on trophic status. J. Fish. Res. Board Can. 32: 1519 1531.

EFFORD. I. E. 1975. Forword to environmental impact assessment and hydroelectric projects: hindsight and foresight in Canada. J. Fish. Res. Board Can. 32: 98 100.

EFFORD. I. E., AND B. M. SMITH. 1972. Energy and the environment. H. R. MacMillan Lectures in Fisheries. Univ. British Columbia, Vancouver, B.C. 220 p.

EMERY. A. R. 1972. A brief introduction to the relationship of nuclear powered generating stations and the environment. Ont. Dep. Land. For. Res. Inf. Pap. (Fish) 39: 22 p.

FALK. M. R., M. D. MILLER. AND S. J. M. KOSTIUK. 1973. Biological effects of mining wastes in the Northwest Territories. Dep. Environ. Resour. Manage. Branch MS Rep.

FRIBERG. L., AND J. VOSTAL. [éd.] 1972. Mercury in the environment: an epidemiological and toxicological appraisal. CRC Press, Cleveland, Ohio. 215 p.

GEEN. G. H. 1974. Effects of hydroelectric development in western Canada on aquatic ecosystems. J. Fish. Res. Board Can. 31: 913 927.

GORDON. A. G., AND E. GORHAM. 1963. Ecological aspects of airpollution from an iron-sintering plant at Wawa, Ontario. Can. J. Bot. 41: 1063 1078.

GORHAM. E. AND A. G. GORDON. 1960. The influence of smelter fumes upon the chemical composition of lake waters near Sudbury, Ontario, and upon the surrounding vegetation. Can. J. Bot. 38: 477 487.

GOTTSCHALK. L. C., AND V. H. JONES. 1975. Valleys and hills erosion and sedimentation, p. 135 143. *Dans* Water, the yearbook of agriculture. U.S. Gov. Print Off., Washinton, D.C.

GREAT LAKES WATER QUALITY BOARD. 1973. Land disposal of sewage sludge. Res. Rep. 16.

HALLAM. R. R. KUSSAT. AND M. JONES. 1974. A biological assessment of Benson lake following cessation of deep lake tailings disposal. Surveillance Rep. EPS5-PR-74-2: 16 p.

HARVEY. H. H. 1975a. Fish populations in a large group of acid-stressed lakes. Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 2406 2417.

1975b. Gas disease in fisheries — a review, p. 450 485. *Dans* W. A. Adams [éd.] Chemistry and physics of aqueous gas solutions. Electrochem. Soc., Princeton, N.J.

HAWLEY. J. R. 1972a. The problem of acid mine drainage in the province of Ontario. Ont. Dep. Environ. 338 p.

1972b. Use, characteristics and toxicity of mine-mill reagents in Ontario. Ont. Dep. Environ. 244 p.

1973. Advancements in the treatment of acid mine drainage in the province of Ontario. Lecture at the Haileybury School of Mines, Haileybury, Ont. 21 p.

HERRICKS. E. E., AND J. CAIRNS. 1973. Rehabilitation of streams receiving acid mine drainage. Water Resour. Res. Cent., OWRR-WRRC-BULL 66: 284 p.

HOUGH STANBURY AND ASSOCIATES. 1972. Lake Alert phase 2. Toronto, Ont. 131 p.

HUTCHINSON. T. C. J. GANCZARCZKY. J. C. VAN LOON. AND P. H. JONES. Lake status index. The approach, theory, methodology and application of a lakeshore capacity model. Publ. EG-Environ. Sci Eng. Univ. Toronto, Ont. 108 128 p.

INHABER. H. 1974. An environmental quality index for Canada. Science 186: 798 805.

JENSEN. S., AND A. H. JERNELOV. 1969. Biological methylation of mercury in aquatic organism. Nature 223(5207): 753 754.

KERR. S. R., AND A. H. LAWRIE [ÉD.] 1976. Natura naturants: a symposium on the Fry paradigm. J. Fish. Res. Board Can. 33: 297 345.

KORVEN. H. C., AND D. H. HEINRICHS. 1971. Slough drainage and cropping Can. Dep. Agric. Publ. 1440: 25 p.

KUSSAT. R. H., M. JONES. AND B. LAWLEY. 1972 A cursory evaluation of the deeplake tailing disposal system at Cominco's Benson Lake operation. B.C. Dep. Environ. Fish. Serv. MS Rep. 16 p.

LAKESHORE CAPACITY STUDY. 1974. The approach, theory, methodology and application of a lakeshore capacity model. Inst. Environ. Sci. Univ. Toronto, Toronto, Ont.

LAMBOU. V. W. 1972. Report on the problem of mercury emission into the environment of the U.S. U.S Environ. Prot. Agency. 81 p.

LIKENS. G. E., F. H. BORMANN. AND M. JOHNSON. 1972. Acid rain. Environment 14: 33 40.

LOCH. J. S., AND J. C. MACLEOD. 1973. Fish toxicity survey of four Prairie Province pulp mill effleunts. Dep. Environ. Resour. Manage. Branch. Tech. Rep. CENT-73-4.

MEYBOOM. P. 1972. Science in a changing environment. Dep. Environ. Policy. Plann. Res. Serv., Sci. Policy Branch. 69 p.

MICHALSKI. M. F. P., AND N. CONROY. 1972. Water quality

evaluation — Lake Albert Study. Ont. Dep. Environ. Rep. 23 p.

MONTREAL ENGINEERING CO. 1972. Northeastern New Brunswick mine water quality program. Fredericton, N.B. 4 vol.

NARVER, D. W. [ED.] 1974. Carnation Creek experimental watershed project annual report for 1973. Dep. Environ. Fish. Mar. Serv. 24 p.

NICHOLLS, K. H., AND H. R. MACCRIMMON. 1974. Nutrients in subsurface and runoff waters of the Holland Marsh, Ontario. J. Environ. Qual. (3)1: 31–35.

ODÉN, S., AND T. AHL. 1975. Man-made changes of the Scandinavian environment and the Baltic Sea. Verh. Int. Ver. Limnol 19.

ONTARIO HYDRO. 1974. Long-range planning of the electric power system. Ont. Hydro. Rep. 556 SP: 33p.

PEARSE, P. H., AND M. E. LAUR. 1971. The value of the Kootenay Lake sport fishery. Stud. Rep. 3: 58 p.

PIMLOTT, D. H., C. J. KERSWILL, AND J. R. BIDER. 1971. Scientific activities in fisheries and wildlife resources. Sci. Counc. Can. Spec. Stud. 15, Cat. No. SS21-1 15: 191 p.

POPPER, K. R. 1966. The open society and its enemies. Vol.I. 361 p., Vol. II, 420 p. Revised ed. Princeton Univ. Press. Princeton, N.J.

ROBINSON, S., AND W. B. SCOTT. 1974. A selected bibliography on mercury in the environment, with subject listings. R. Ont. Mus. Life Sci. Misc. Publ. 54 p.

RYDER, R. A., S. R. KERR, K. H. LOFTUS, AND H. A. REIGER. 1974. The morphoedaphic index, a fish yield estimator — review and evaluation. J. Fish. Res. Board Can. 31: 663–688.

SAKAMOTO, M. 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. Arch. Hydrobiol. 62: 1–28.

SAWYER, C. N. 1947. Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. New. Engl. Water Works Assoc. 61: 109–127.

SCHEIDER, W., J. ADAMASKI, AND M. PAYLOR. 1975. Reclamation of acidified lakes near Sudbury, Ontario. Ont. Dep. Environ. 129 p.

SCIENCE COUNCIL OF CANADA. 1973. Natural resource policy issues in Canada. Sci. Counc. Can. Rep. 19: 59 p.

SERVIZI, J. A., AND R. W. GORDON. 1972. Detoxification of kraft pulp mill effluent by an erated lagoon, p. 45–56. *Dans* 7th Air and Stream Improvement Conf. Can. Pulp Pap. Assoc., Tech. Sect.

SERVIZI, J. A. AND D. W. MARTENS. 1974. Preliminary survey of toxicity of chlorinated sewage to sockeye and pink salmon. Int. Pac. Salmon Fish. Comm. Rep. 30: 42 p.

SERVIZI, J. A., E. T. STONE, AND R. W. GORDON. 1966. Toxicity and treatment of kraft pulp bleach plant waste. Int. Pac. Salmon Fish. Comm. Prog. Rep. 13.

SEWELL, W. R. D., AND J. ROSTRON. 1970. Recreational fishing evaluation. Can. Dep. Fish. For. 133 p.

SHANNON, E. E., AND P. L. BREZONIK. 1972. Relationships between lake trophic state and nitrogen and phosphorus loading rates. Environ. Sci. Tech. 6: 719–725.

SLANEY, P. A., T. W. CHAMBERLAIN, AND T. G. HALSEY. 1973. Effects of forest harvesting practices on the aquatic environment of watersheds in the central interior of British Columbia. B.C. Fish. For. Stud. Prog. Rep. 33 p.

SPRAGUE, J. B. 1964. Lethal concentrations of copper and zinc for young Atlantic salmon. J. Fish. Res. Board Can. 21: 17–26.

SPRULES, W. M. 1975. Factors affecting the structure of limnetic crustacean zooplankton communities in several central Ontario lakes. Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 635–643.

STEIN, J. N., AND M. D. MILLER. 1972. An investigation into the effects of a zinc lead mine in the aquatic environment on Great Slave Lake. Man. Fish. Serv. Resour. Manage. Branch Tech. Rep. 56 p.

STOKES, P. M., T. C. HUTCHINSON, AND K. KRAUER. 1973. Heavy metal tolerance in algae isolated from polluted lakes near the Sudbury, Ontario, smelters. Can. Water Pollut. Res. 8: 178–201.

TAMM, C. O., H. HOLMES, B. POPOVIC, AND G. WIKLANDER. 1974. Leaching of plant nutrients from soils as a consequence of forestry operations. Ambio 3: 211–221.

UTHE, J. F., F. M. ATTON, AND L. M. ROYER. 1973. Uptake of mercury on caged rainbow trout in the South Saskatchewan River. J. Fish. Res. Board Can. 30: 643–650.

VALLENTYNE, J. R. 1972. Freshwater supplies and pollution: effects of the demophoric explosion on water and man, p. 181–211. *Dans* N. Polanin, [éd.] The environmental future. Barnes and Noble, Inc., New York, N.Y.

VOLLENWEIDER, R. A. 1968. The scientific basis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. OECD, Tech. Rep. DAS DSI 68, 27: 1–182.

1969. Moglichkeiten and Grenzen elementarer Modellé de Stoffbilanz von Seen Arch. Hydrobiol. 66: 1–36. (En allemand)

WATER POLLUTION CONTROL. 1973. Increased heavy metal around Sudbury's smelters. June 1973: 48–49.

WEAGLE, K. V., AND R. A. CAMERON. 1974. The impact of the Strutt Lake hydro project on the Snare River, N. W. T. Dep. Environ. Resour. Manage. Branch, Cent. Reg. Tech. Rep. Ser. CEN T-74-4: 32 p.

WELLS, P. G., E. PESSAH, AND W. R. PARKER. 1974. The toxicity of raw and treated drainage from Health Steele Mines, N. B., during period of September-October, 1974. Dep. Environ., Environ. Prot. Serv. Toxicity Eval. Sect. Surveillance Anal. Div. Atl. reg. EPS-5-AR-74-14: 27 p.

WILDISH, D. J., W. G. CARSON, AND W. V. CARSON. 1971. The effect of humic substances on copper and zinc toxicity to salmon, *S. salar* L. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1160: 17 p.

WILLEN, T. 1972. The gradual destruction of Sweden's Lakes. Ambio 1: 6–14.

ZITKO, V. 1970. Mining pollution. Presented at FRB Meeting Halifax, N.S., August 1970.

Annexe 1. Octrois accordés par le Conseil national de recherches du Canada en aide à des recherches étroitement liées à la qualité de l'environnement aquatique

Effets des polluants sur le comportement des salmonidés	$4 000
Contrôle de la pollution de l'eau par fermentation des hydrates de carbone de rebut	6 580

L'importance de bdelloribrio bacteriovorus dans l'écologie de l'eau polluée	$9 000
Aspects de la biologie et de la pollution de l'environnement dans l'étang Long, Saint-Jean, T.-N.	2 500
Pollution dans le sol et dans l'eau	5 000
Limnologie des eaux polluées et d'autres eaux courantes en Alberta méridionale	8 000
Physiologie environnementale des poissons. Effets de l'acidité sur les populations de poissons des lacs de la montagne La Cloche. Facteurs affectant la formation de circuli et d'annuli sur les écailles de poisson	8 000
Influence de l'environnement sur l'écologie et le comportement des poissons	12 000
1) Effet de la qualité de la lumière sur la photosynthèse et le métabolisme des algues planctoniques d'eau douce	
2) Effet des sels nutritifs provenant du drainage agricole sur l'eutrophisation dans le lac Saint-Claire	4 000
Recherche sur la suppression de la pollution	8 200
1) Enlèvement des phosphates des eaux usées	
2) Enlèvement du bioxyde de soufre	
3) Liquide	4 000
Limitations des systèmes de suppression de la pollution de l'eau	8 000
1) Oxydation chimique destructive dans les eaux usées	
2) Rétention des gaz dans un mélange organique aqueux	4 125
Évolution du mercure et de ses composés en milieu aquatique	4 000
1) Changements dans la qualité de l'eau par passage à travers le barrage de Mactaquac	
2) Changements dans les gaz dissous par passage à travers le barrage de Mactaquac	
3) Application de substances chimiues à l'enlèvement des solides dans les eaux usées de pommes de terre	7 000
A) Présence et répartition de polluants métalliques dans l'air, le sol et l'eau dans le voisinage de Sudbury et du Toronto métropolitain	
B) Etude expérimentale de l'assimilation et de la répartition des métaux lourds dans les plantes, y compris les algues	
C) Interaction du stress de l'humidité et des désordres de la nutrition sur la transpiration	$11 000
1) Bilan thermique d'un écoulement en nature	
2) Modification du régime thermique de la rivière Canaan et conséquences biologiques	5 000

Annexe 2. Autres octrois de CNR se rapportant à la qualité de l'environnement aquatique

OCTROIS NÉGOCIÉS

Recherche sur les aspects environnementaux et génétiques de la productivité dans la zone côtière	119 000
Projet de la rivière des Outaouais	101 000
Institut des Grands lacs	75 500

PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL — OCTROIS SPÉCIAUX

Le recyclage des substances nutritives par le traitement biologique sélectif des eaux usées dans le programme d'assainissement des eaux du Saint-Laurent	18 000

OCTROIS À DES CONFÉRENCES

Conférence internationale sur le transport des substances chimiques persistantes dans les écosystèmes aquatiques 1974	1 000